

**Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-  
krankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz**

# **Der Einfluß der Spraynebelabsauganlage auf die Temperatur in der Pulpa extrahierter Zähne**

— Eine experimentelle Studie —

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz**

---

Dem Fachbereich Medizin vorgestellt von  
Astrid Schwan aus Saarbrücken

Mainz ~~1983~~ 1984



Dekan: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl  
1. Gutachter: Prof. Dr. G. Siebert  
2. Gutachter: Prof. Dr. F. Schübel  
Tag der mündlichen Prüfung: 15. Februar 1984



Digitized by the Internet Archive  
in 2026



Meiner lieben Mutter  
gewidmet



# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                 | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung .....                                                             | 1     |
| 2. Literaturüberblick                                                           |       |
| 2. 1 Schmerz .....                                                              | 2     |
| 2. 2 Pulpa                                                                      |       |
| 2. 2 1. Histologie .....                                                        | 7     |
| 2. 2 2. Innervation .....                                                       | 9     |
| 2. 3 Temperaturverläufe der Pulpa bei<br>Bearbeitung der Zahnhartsubstanz ..... | 11    |
| 2. 4 Spraynebelabsauganlage .....                                               | 15    |
| 3. Material und Methodik                                                        |       |
| 3. 1 Versuchsaufbau und Versuchsvorbereitung ....                               | 19    |
| 3. 2 Vorversuche .....                                                          | 23    |
| 3. 3 Hauptversuche .....                                                        | 25    |
| 4. Ergebnisse                                                                   |       |
| 4. 1 Einzelergebnisse .....                                                     | 30    |
| 4. 2 Zusammenfassende Betrachtung .....                                         | 45    |
| 5. Diskussion .....                                                             | 47    |
| 6. Zusammenfassung .....                                                        | 53    |
| 7. Literaturverzeichnis .....                                                   | 55    |



# 1. Einleitung

In der heutigen Zeit ist die Zahnbehandlung durch rationelle Arbeitsmethoden und das große Angebot an Lokalanästhetika für den Patienten weitgehend erträglich geworden. Er muß beim Bohren und Schleifen keine Schmerzen mehr befürchten; durch das Arbeiten mit der Turbine ist die Behandlungszeit erheblich verkürzt. Der Speichelsauger verhindert das Entstehen eines Speichelsees und damit einen eventuell auftretenden Wür gereiz. Die heute zusätzlich verwendete Spraynebelabsauganlage entfernt sofort das durch die Spraymatic anfallende Wasser. Damit wird dem Behandler ständig eine gute Sicht ermöglicht, durch die ununterbrochene Reinigung des Mundes von Rückständen und Speichel ein rationelleres Arbeiten erlaubt und, wie einige Autoren feststellten, der Bakteriengehalt der Luft in der Nähe der Mundhöhle des Patienten reduziert (8).

Von vielen Patienten aber wird diese starke Absaugung als unangenehm empfunden. Sowohl an den nicht anästhesierten wie auch gelegentlich an den zu präparierenden anästhesierten Zähnen entsteht ein dumpfes Schmerzgefühl, die Schleimhäute werden abgekühlt. Oft sind noch Stunden nach der Behandlung die Zähne hypersensibel.

Die eigentliche Ursache für diesen Schmerzreiz konnte bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden. Es wäre denkbar, daß durch die Absaugung die Temperatur in der Pulpa unterhalb eine Schmerzgrenze gesenkt wird. Diese Theorie soll in der vorliegenden Arbeit anhand experimenteller Untersuchungen an extrahierten Zähnen überprüft werden.





## **2. Literaturüberblick**

### **2. 1 Schmerz**

Der Schmerz ist ein Sinnesphänomen, das nur vom Erleben des Patienten her bewertet werden kann und zwar sowohl in bezug auf seine Qualität als auch auf seine Quantität; er hat eine Warnfunktion für den Organismus (50).

Die Qualität des Schmerzes kann stechend, bohrend, klopfend, drückend, kneifend, ziehend, reißend, schneidend, hell, dumpf oder scharf sein. (44) „Einen biologisch definierten Schmerzreiz gibt es nicht“ (27).

Die morphologische Struktur des Schmerzsinner ist wie bei jedem anderen Sinnesorgan gegeben durch Rezeptor, Leitungsbahn und Zentrum im Zentralnervensystem. Bei den Rezeptoren unterscheidet man zwischen mechanosensiblen, thermosensiblen, chemosensiblen und multimodalen, die alle in Form freier Nervenendigungen vermutet werden (23).

So werden in der Haut Mechano- und Thermorezeptoren von speziellen Nociceptoren unterschieden. Als Beispiel führt SCHMIDT (46) thermosensible Nociceptoren an, die auf Kalt- und Warmreize unterhalb von  $41^{\circ}\text{C}$  nicht reagieren und erst ab  $45^{\circ}\text{C}$  schmerzfreie Hitzeempfindungen auslösen, also keine eigentlichen Thermorezeptoren darstellen.

Als Nociceptoren in der Pulpa betrachten MÜNCH und KLUCZKA (35) „nervale Endorgane, die den Ruffini'schen Körperchen ähnlich sind“.



Ob die Schmerzregistrierung in der Pulpa, nur in den Zahnhartsubstanzen oder im gesamten Zahn erfolgt, ist bisher umstritten.

J. A. KÖHLER trennt zwischen Dentin-, Pulpa- und Parodontschmerz, macht jedoch keine Angaben über die Art der Schmerzauslösung (30).

Das „Organ Zahn“ hat bei verschiedenen Reizen nur eine einfache Empfindungsmodalität: die Schmerzempfindung ohne weitere Differenzierung.

Die Auffassungen der einzelnen Autoren gehen jedoch auseinander, was die Empfindungsqualitäten des Zahnes betrifft.

BRANNSTRÖM und ASTRÖM (7) unterscheiden zwei Schmerztypen ausgehend vom Dentin und zwar hervorgerufen durch hydrodynamische Bewegungen in den Dentintubuli: zum einen den sofortigen scharfen Schmerz durch Bohren, Gebläseluft, Kälte infolge schneller Auswärtsbewegung des Kanälcheninhalts am pulpenahen Ende und dadurch entstehender Deformation von Nervenfasern. Zum anderen sehen sie eine u. a. durch Hitze ausgelöste Einwärtsbewegung des Kanälcheninhalts. Eine ähnliche Auffassung wird auch von EVERS und HAEGERSTAM (15) vertreten, die die Schmerzreizung ausschließlich auf Flüssigkeitsbewegungen in den Tubuli zurückführen.

Dieser Meinung widersprechen Autoren wie FROMME (17), STOCKINGER und PRITZ (51), da die Odontoblastenfortsätze nach ihren Beobachtungen den Wänden der Kanälchen dicht anliegen. Sie sehen die Schmerzrezeptoren in der Pulpa selbst, da weder anästhesierende Lösungen noch chemische Substanzen wie Bradykinin,



3 %iges  $\text{H}_2\text{O}_2$  irgendeine Wirkung bei Applikation auf das Dentin, wohl aber auf die Pulpa zeigten.

Nach Angaben von HENSEL (23) besteht ein Einfluß durch das mitgereizte Zahnfleisch, da nach dessen Bepinselung mit Cocain die Empfindungsqualität auf Temperaturreizung verändert ist. Auf Grund seiner Untersuchungen lokalisiert er die erste spontane Schmerzauslösung ins Dentin, erst bei längerer Einwirkung überschwelliger Temperaturen spricht er von einer Mitreaktion der Pulpa. Allerdings reagiert diese auf weitaus geringere Temperaturschwankungen (24).

Auch führt Kältereizung schneller zur Auslösung von Zahnschmerzen - es genügen Temperaturen um  $26^\circ \text{C}$  - als die Reizung mit Wärme, da hier Temperaturen größer als  $43^\circ \text{C}$  über längere Zeit an der Schmelz-Dentingrenze nötig sind (20) (23).

Diese Meinung wird auch von BRANNSTRÖMS Feststellung unterstützt, daß die hydrodynamischen Schwankungen bei Kälte schneller eintreten als bei Wärme (7).

Trotzdem lehnt DRUM (10) warmes Kühlwasser ab, da er glaubt, durch kaltes Wasser langsam die Schmerzreizschwelle zu erhöhen und einen anästhesierenden Effekt zu erzielen. Doch nachweislich führen erst Temperaturen unterhalb von  $4^\circ \text{C}$ , wie sie beim Non-Dolor-Gerät angewandt wurden, zur gewünschten Anästhesie.

In der objektiven Sinnesphysiologie wird die Stärke des Reizes und der Reizantwort u. a. anhand der Frequenz der Aktionspotentiale bestimmt.

Als subjektive Einheit beschreibt SCHMIDT (46) die ab-



solute Empfindungsschwelle und die Empfindungsintensität als Vielfaches der Schwellenempfindung.

Experimentelle Schmerzmessungen am Zahn wurden meist mittels verschiedener Stromstärken durchgeführt. So testeten ENGELTER u. a. (14) die Wirksamkeit von Lokalanästhetika durch Einwirkung von sinusförmigem Wechselstrom einer vorher bestimmten Stärke.

Andere Autoren prüften die Schmerzschwelle verschiedener Probanden durch Kältereizung. So versuchte PÖLLMANN (40) eine Objektivierung durch Bestimmung der Kaltreiznutzzeit zu erreichen, indem er definierte Temperaturen so lange auf den Zahn einwirken ließ, bis eine Schmerzempfindung bei dem jeweiligen Probanden auftrat. So konnte er auch feststellen, daß die Empfindlichkeit tagesrhythmischen Schwankungen unterworfen ist, mit einem Maximum in den frühen Nachmittagsstunden und einem Minimumfrühmorgens, ebenso jahreszeitlich verschieden ist mit einem Maximum im Oktober und November und einem Minimum im Mai (39).

HENSEL und MANN (24) ermittelten einen Betrag von  $26,4^{\circ}\text{C}$  an der Schmelz-Dentingrenze als Schwellenwert zur Auslösung eines Kälteschmerzes.

NAYLOR (36) registrierte zwischen  $29^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$  bei seinen Probanden, die die Einwirkung von Kälte auch immer als Schmerz, nie als Kälteempfindung beschrieben.

Weiterhin konnte er keinen Zusammenhang zwischen der Dicke des Dentins und dem Wert finden, der den Kälteschmerz auslöste.

Durch eine Lokalanästhesie wird die periphere Schmerz-



leitung örtlich begrenzt aufgehoben, indem die Fortleitung von Aktionspotentialen blockiert wird. Dabei nehmen die Empfindungen in einer bestimmten Reihenfolge ab: zunächst der Schmerzsinne, danach das Temperatur- und Berührungsempfinden. Das Druckempfinden läßt sich jedoch nie ganz ausschalten.

So gibt es auch noch keine wissenschaftlich fundierte Begründung für das gelegentlich zu beobachtende Phänomen, daß trotz einer vollständig wirksam scheinenden Anästhesie einige Patienten bei der Präparation oder Absaugung dennoch Schmerzen angeben.



## **2. 2 Pulpa**

### **2. 2. 1 Histologie**

Die Pulpa stellt ein zartes bindegewebiges Organ dar, das im jugendlichen Zustand hinsichtlich der Form den betreffenden Zahn in verkleinertem Maßstab wiedergibt. In eine homogene, gallertähnliche Grundsubstanz eingelagert sind kollagene Fibrillen, die ein dichtes Maschenwerk bilden, verschiedene Zelltypen, Nervenfasern, Blut- und eventuell Lymphgefäße, deren Existenz allerdings umstritten ist. In der oberflächlichen Schicht liegen die Odontoblasten, die für den Stoffwechsel des Dentins sorgen.

Schädigungen der Pulpa zeigen sich in Form von Ödemen, vakuoligen Degenerationen der Odontoblasten, Hämorrhagien und Nekrosen des Gewebes (55).

Wie POTHÖ und SCHEININ (41) feststellten, führen bereits kleinere Temperaturänderungen in der Pulpa zu histologisch nachweisbaren Veränderungen. So reagieren die Pulpengefäße nach ihren Erkenntnissen unterhalb von  $37^{\circ}\text{C}$  mit einer Verlangsamung der Strömungsgeschwindigkeit, während ab  $39^{\circ}\text{C}$  die Strömungsgeschwindigkeit zunimmt mit nachfolgender Permeabilitätssteigerung und ab  $44^{\circ}\text{C}$  einer Aggregationsneigung der Erythrozyten.

Auch das umgebende Milieu hat einen entscheidenden Einfluß. So hinterläßt feuchte Kälte über Gefriertemperatur keine irreversiblen Pulpaschäden; feuchte Hitze verursacht bei Temperaturen von  $42^{\circ}\text{C}$  -  $44^{\circ}\text{C}$  Ödeme in der Pulpa, bei  $46^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$  Stase und Thrombose. Die Auswirkungen trockener Hitze sind ausgeprägter als die feuchter Hitze und Luftkühlung ohne Feuchtigkeitszutritt (13).



MÜHLEMANN (13) weist auf die Gefahren der Dehydration der Dentintubuli hin, da sie zu einer Verlagerung der Odontoblastenkerne in die Tubuli und damit zu einem Absterben der Odontoblasten führen, wodurch eine Bildung von Schutzdentin verhindert wird.

Auch LANGE LAND (31) konnte im histologischen Bild nach Kavitätenpräparation ohne Kühlung sowie mit Kaltluftstrom ausgedehnte Schädigungen erkennen.

Außerdem stellte er fest, daß histologische Veränderungen häufig sehr viel früher auftreten, als sie sich klinisch bemerkbar machen. So entdeckte er schon Entzündungszellen im Zentrum der Pulpa bevor eine Karies zu erkennen war (32).



## 2. 2. 2 Innervation

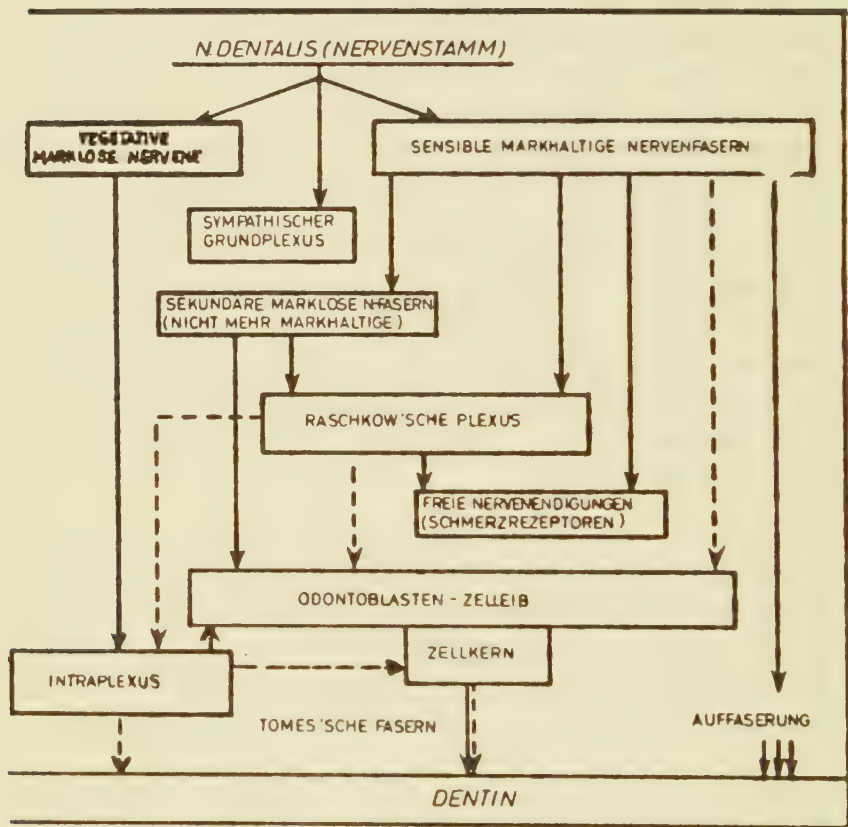
Die Pulpanerven, Endäste des nervus mandibularis bzw. des nervus maxillaris des Trigeminusnerven, treten am Foramen apicale parallel mit den Gefäßen in den Wurzelkanal ein. Laut EVERS und HAEGERSTAM (15) sind die Hälfte der Nervenfasern dünne myelinisierte A-Fasern, die übrigen nichtmyelinisierte C-Fasern. Einige Nervenfasern der Pulpa sollen Polypeptide enthalten, die vielleicht mit der Übertragung nociceptiver Informationen an das Zentralnervensystem zusammenhängen.

Nach SCHUMACHER (48) handelt es sich bei den Pulpanerven um Bündel markhaltiger sensibler und markloser vegetativer Fasern, die sich kronenwärts ausbreiten. Dort lösen sie sich zunächst im subodontoblastischen Plexus, auch als Raschkow'scher Plexus bezeichnet, auf oder im Intraplexus zwischen Odontoblasten und Prädentin.

ARWILL (3) konnte zwischen Odontoblasten und Nervenfasern keine engeren Kontakte finden, bestreitet auch die Anwesenheit von Nervenfasern im mineralisierten Dentin, während BERKELBACH (5) beobachtete, daß die Nervenfasern mit Endösen im Dentin enden, sowie die Tomes'schen Fasern spiralg umgeben.

MÜNCH und KLUCZKA (35) stellten histologisch mehrere Typen von Nervenendigungen in der Pulpa fest, vasokonstriktische und sensible Nervenstämme sowie einen der Ganglienzelle ähnlichen Zelltyp.

Nach der heutigen, allgemein anerkannten Auffassung teilen sich die meisten sensiblen Nervenfasern im koralen Teil des Pulpacavums auf, wobei die Dicke der Myelinscheide bei den myelinisierten Nervenfasern fort-



(nach BATAY (4))

Abb. 1

während abnimmt. Einzelne Nervenfasern enden in einem Netzwerk unterhalb der Odontoblastenschicht, andere ziehen durch die zellarme Zone zwischen Fibroblasten und Odontoblasten, um in die Zellage des Odontoblastensaumes einzudringen. Davon endet ein Teil im Prädentin, der andere setzt sich in den Dentinkanälchen fort. In Pulpennähe ist das Dentin von ca. 75.000 Kanälchen/mm<sup>2</sup> durchzogen (s. Abb. 1).



## 2.3 Temperaturverläufe in der Pulpa bei Bearbeitung der Zahnhartsubstanz

Das Verhalten von Materialien bei verschiedenen Temperaturen wird mitbestimmt durch die Eigenschaften der Wärme- und Temperaturleitfähigkeit, die für jeden Stoff einen bestimmten konstanten Wert aufweist.

Die Wärmeleitfähigkeit wird definiert als die Wärmemenge, die durch eine 1 cm<sup>2</sup> große Fläche einer 1 cm dicken Platte in 1 s bei einer Temperaturdifferenz von 1<sup>0</sup> C hindurchgeht mit der

$$\text{Einheit } \frac{\text{cal}}{\text{cm} \times \text{s} \times \text{grad}} \cdot (10^{-3})$$

Die Temperaturleitfähigkeit ergibt sich aus der Wärmeleitfähigkeit dividiert durch die auf den Kubikzentimeter bezogene spezifische Wärme eines Stoffes x Dichte mit der Einheit cm<sup>2</sup> / s.

Die spezifische Wärme ist diejenige Wärmemenge in Kilokalorien, die erforderlich ist, um die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1<sup>0</sup> C zu erhöhen.

Aus den oben genannten physikalischen Werten ergibt sich, daß die Zahnhartsubstanz im Vergleich zu anderen Materialien ein relativ schlechter Wärmeleiter ist.

HENSEL (24) registrierte für Schmelz und Dentin eine Temperaturleitzahl von  $1,8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ . BRADEN (6) ermittelte für Dentin  $4,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , für Schmelz  $2,6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ .



Über Temperaturverläufe im Inneren des Zahnes, insbesondere der Pulpa, wird in der Literatur ausführlich berichtet. So hängt das Temperaturfeld im Zahn wesentlich von der Umgebung ab. Außentemperaturen zwischen  $85^{\circ}\text{C}$  bis  $-12^{\circ}\text{C}$  führten zu Werten von  $45^{\circ}\text{C}$  —  $16^{\circ}\text{C}$  im Inneren (20). Dabei bildet die Blutzirkulation eine Art ständiger Gegenheizung gegen die äußeren Einflüsse (19).

Die schnellsten Temperaturänderungen und auch die ausgeprägtesten finden an der Schmelz-Dentingrenze statt, während in der Pulpa eine stark verzögerte Reaktion erfolgt, die oft den äußeren Reiz noch überdauert.

Das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Änderungen sind dabei natürlich abhängig von der Morphologie des Zahnes, der Mineralisation, der Integrität sowie von der Art des Temperaturreizes. So wirkt kühlende Flüssigkeit nicht so stark wie kalte Luft, die eine zusätzliche Verdunstungskälte verursacht, indem sie den durch Wärmeabstrahlung vorhandenen Luftmantel beseitigt.

So führen die Untersuchungen über das Temperaturverhalten bei der Bearbeitung der Zahnhartsubstanz zu interessanten und teilweise recht unterschiedlichen Ergebnissen. Dadurch wird die Problematik deutlich, daß die Resultate der verschiedenen Versuche oft nicht reproduzierbar und nicht miteinander vergleichbar sind. Denn die Versuchsbedingungen variierten erheblich. Einige Autoren maßen die Temperaturverläufe *in vivo*, andere *in vitro*; teilweise befanden sich die Zähne in Zimmertemperatur, teils in Mundtemperatur, teils lag der Thermofühler an der Schmelz-Dentin-Grenze, teils im Pulpencavum; einige Untersuchungen wurden nur mit Dentinprüfkörpern durchgeführt.



So konnte FUHR (18) feststellen, daß bei Einwirkung von Kühlmittel die Temperaturen in der Pulpa ausgehend von Zimmertemperatur einen steigenden, ausgehend von Mundtemperatur einen fallenden Verlauf zeigten.

Bei der Präparation spielen viele unterschiedliche Parameter eine Rolle. Reibungswärme ist abhängig von der Drehzahl, dem Radius und der Beschaffenheit der Bohrer sowie dem Anpreßdruck.

So führt das Arbeiten mit kleinen und unscharfen Schleifkörpern zu weitaus höheren Temperaturen als bei Verwendung scharfer, da die heißen Schleifspäne langsamer abtransportiert werden, und oft der Anpreßdruck durch den Behandler unwillkürlich erhöht wird.

KLOS und ROTTKE (29) beobachteten bei Gebrauch neuer Rosenbohrer einen Temperaturabfall in extrahierten Zähnen bis  $32^{\circ}\text{C}$ , bei älteren jedoch einen Anstieg bis  $45^{\circ}\text{C}$ .

Hinzu kommt die Art der Kühlung. Beide stellten bei Spraykühlung durchweg einen Temperaturabfall fest; dabei schwankten die Spraytemperaturen erheblich, zwischen  $29^{\circ} - 45^{\circ}\text{C}$ . Nach ihren Angaben ist auch die Luft, die am Bohrerkopf austritt, entschieden zu kalt. Sie halten ein trockenes Arbeiten für schädigend, da „kalte Austrocknung der angeschnittenen Tomes'schen Fasern die Folge ist“.

Andere Autoren plädieren für eine Wasserkühlung auf Grund ihrer stärkeren Wirkung.

FUHR (18) bevorzugt einen gezielten Wasserstrahl, weil „hierbei die Mehrheit der Patienten weniger Beschwerden angibt“.



Außerdem sollte die Kühlwassermenge nicht weniger als  $30 \text{ cm}^3/\text{min}$  betragen.

Auch HAHNE (21) stellt bei Spraymatic mehr Beschwerden der Patienten fest als bei Bestrahlen. Dabei erweist sich ein Zweidüsensystem als effektiver und gleichmäßiger, denn „die Zubringung des Spraystrahls ist schon durch die Zentrifugalwirkung des um den Schleifkörper entstehenden Luftwirbels erschwert“ (8).

STÜBEN und HOPPE (52) trennen außerdem die Reaktion der Zähne in vivo von der extrahierten in vitro. An extrahierten Zähnen beobachten sie bei der Präparation mit höchsttourig laufenden Instrumenten einen Temperaturanstieg am Pulpdach, im Mund des Patienten jedoch nur, wenn die Präparation mit einem Diamanten ohne zusätzliche Kühlung durchgeführt wird.

FECHNERS (16) Messungen an Dentinprüfkörpern zeigen ohne Kühlung steigende, mit Kühlung fast konstante Verläufe.

SHEPHERD (49) erreicht in der Pulpa bei Rattenzähnen in vivo Werte bis  $-13^\circ \text{C}$ , in vitro bis  $-29^\circ \text{C}$ .

Auf die zusätzlichen Einwirkungen der unterschiedlichen Absaugsysteme wird in keiner der durchgesehenen Literaturausschnitte eingegangen, obwohl es solche Geräte schon sehr lange gibt.



## 2. 4 Spraynebelabsauganlage

Durch die Einführung von hoch- und höchsttourig laufenden Bohrern und der damit notwendigen zusätzlichen Kühlung mit Wasser stellte sich das Problem, daß der herkömmliche Speichelzieher nicht zur Beseitigung des anfallenden Kühlwassers ausreichte. Das hatte ein ständiges Ausspucken und Spülen von seiten des Patienten und eine dadurch ständig unterbrochene Behandlungsweise zur Folge.

Hinzu kam, daß beim Auftreffen des Kühlstrahls auf die hochtourig rotierende Bohrspitze feinstes Wasser-aerosol entstand. Zum einen wurden dadurch das Präparationsfeld beschattet und damit die Sichtverhältnisse erheblich verschlechtert, zum anderen stellte der Spraynebel einen idealen Träger von pathogenen Keimen dar, der von Arzt und HelferIn ständig inhaliert wurde.

Durch einen trockenen Luftstrom wird der Mundschleimhaut Feuchtigkeit entzogen; somit trocknen die Keime an und haften an Ort und Stelle. Zudem stellt trockener Bohrstaub keine Gefahr dar, da oft schon an der Schnittstelle durch die auftretenden hohen Temperaturen die Keime vernichtet werden (2) (33).

Dagegen werden laut RIETHE (43) durch den hohen Druck des Wassersprays Bakterien von den Schleimhäuten und Prädilektionsstellen herausgewaschen, von den nachfolgenden Wassertröpfchen mitgerissen und sind oft noch in einem Umfeld bis zu 1,8 m vom Munde des Patienten entfernt nachweisbar (11).

Diese Faktoren haben zur Entwicklung von Absauganlagen geführt, die die Leistungen des Speichelziehers bei weitem übertreffen.



Schon 1955 beschrieb ELBERT O. THOMPSON (53), der zur Entwicklung dieser Geräte erheblich beigetragen hat, die Vorteile der „washed field technic“ auf allen Gebieten der Zahnheilkunde. So weist er auch auf die Gefahren der Dehydration der Gewebe hin und auf die verminderten postoperativen Beschwerden der Patienten nach ausreichender Kühlung während des Eingriffs. Gleichzeitig beschreibt er die Vorzüge eines verstärkten Absaugsystems durch das Unterdruckprinzip bis zu einer Stärke von 120 Meilen pro Stunde Luftgeschwindigkeit.

So kam es dann vor ungefähr 15 Jahren zur Einführung der Spraynebel-Absauggeräte, wie sie auch heute noch bei uns gebräuchlich sind. Diese funktionieren nach dem sogenannten Staubsaugerprinzip. Von einem Saugmotor wird ein Vakuum zwischen - 1000 mm WS und - 1500 mm WS erzeugt (WS = Wassersäule).

Bei diesen Werten ist die angesaugte Luftmenge so ausgewogen, daß der Abtransport des Spraynebels gewährleistet ist, aber kein Ablenken des Kühlmittelstrahls von der Bohrspitze erfolgen kann.

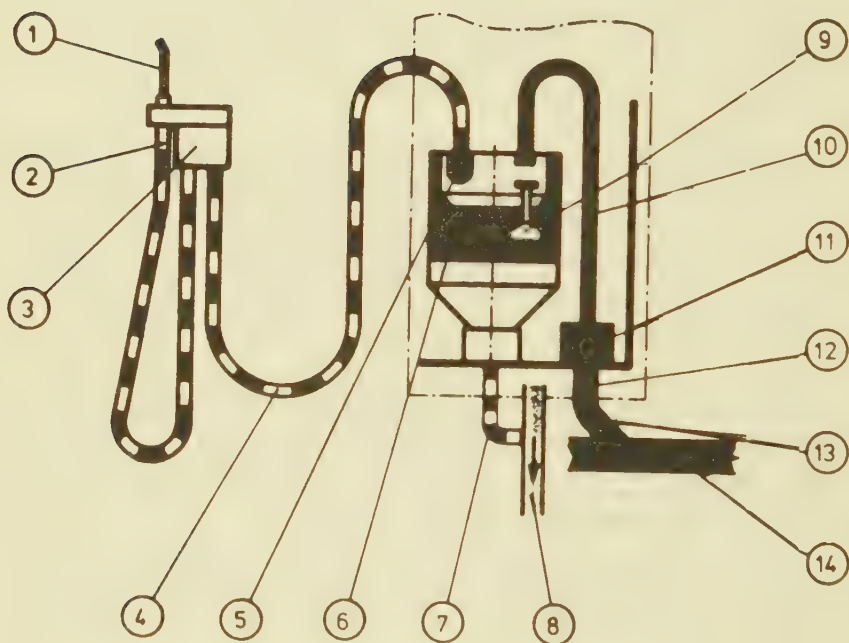
Die Luftmenge beträgt bei einem Kanülenquerschnitt von 1 cm<sup>2</sup> zwischen 300 - 400 l/min, die Luftgeschwindigkeit dabei 50 m/s.

Zur Vermeidung großer Saugleistungsverluste wird nach der Kanüle im Abflußschlauch der Querschnitt erweitert und damit die Luftgeschwindigkeit auf 15 m/s - 20 m/s reduziert (11).

Grundsätzlich unterscheidet man zwei verschiedene Saugsysteme:

1. das trockene System
2. das nasse System

# Funktionsprinzip des Separierbehälters



1 Saugkanüle (oder Speichelzieher)

2 Saugschlauch

3 Schlauchhalter

4 Verbindungsschlauch

5 Filter

6 Separationsbehälter

7 Abflußschlauch

(Anschlußstutzen D = 12 mm,  
d = 10 mm)

8 Geräteabfluß

9 Schwimmer

10 Schlauch

11 Absperrventil (wird vom Saug-  
schlauch betätigt)

12 Schlauch

13 Anschlußrohr NW 40 (NW 30)

14 Hauptvakuumleitung

(nach DÜRR-DENTAL [11] )

Abb. 2

Zu 1. Das **trockene System** besteht hauptsächlich aus 3 Elementen:

- a) der Schlauchablage mit Einzelschlauchsteuerung,
- b) dem Separierbehälter, in dem die Luft von Wasser und den gesamten Schmutzeffekten getrennt wird und grobe Partikel in einem Filter zurückgehalten werden,
- c) der Saugmaschine, die aus einem Asynchronmotor und einem im Turbinengehäuse berührungslos laufenden Schaufelrad besteht.

Zu 2. Das **nasse System** unterscheidet sich gegenüber dem trockenen dadurch, daß am Arbeitsplatz keine Separierung, d. h. keine Trennung von Wasser, Schmutzeffekten und Luft vorgenommen wird, sondern alle Medien durch das Rohrsystem und durch die Pumpe gezogen werden und erst hinter der Pumpe in einer Entmischungsvorrichtung diese Trennung erfolgt.

Auch bei dem Separierbehälter werden zwei Prinzipien unterschieden:

1. das Schwerkraftprinzip (= alter Behälter).  
Durch extreme Senkung der Luftgeschwindigkeit bis auf 4-6 m/s durch extreme Querschnittserweiterung kommt es zu einem Absetzen des Sekrets am Behälterboden auf Grund der Schwerkraft, während die Luft zur Saugmaschine weitergeleitet wird.
2. das Fliehkraftprinzip (= Separierautomatik)  
Entgegen dem alten Behälter wird der Querschnitt verkleinert und somit die Geschwindigkeit erhöht. Durch die Fliehkraft wird das Sekret an die Außenwand des Behälters geschleudert und gelangt dann in die Sekretkammer.



Die Kanülenform variiert je nach Anwendungsbereich von der schmalen länglichen chirurgischen Absaugkanüle bis hin zur Universalkanüle mit einem Querschnitt von  $1,0 \text{ cm}^2$  (s. Abb. 4).



### **3. Material und Methodik**

#### **3. 1 Versuchsaufbau und Versuchsvorbereitung**

Die Untersuchungen wurden an frisch extrahierten, kariesfreien, ungefüllten Zähnen durchgeführt. Ihre Aufbewahrung bis zum Versuchsbeginn erfolgte in physiologischer (0,9 %) Kochsalzlösung, da laut KLÖTZER (28) bei trockenen Zähnen eine um 20 % höhere Wärmewirkung entsteht.

Zur Messung der Temperaturen wurde das Prinzip der Thermoelemente herangezogen. Diese bestehen aus zwei verschiedenen Metalldrähten, die an beiden Enden zusammengelötet werden. Herrscht an den Lötstellen unterschiedliche Temperatur, so entsteht eine Spannung, die sog. Thermospannung, die der Temperaturdifferenz direkt proportional ist. Nach Verstärkung kann die auftretende Spannung mittels spezieller Schreiber registriert und aufgezeichnet werden.

Hier wurde Kupfer- und Konstantandraht von 1 mm Dicke, der wegen der geringen Wärmekapazität kleinste Temperaturdifferenzen anzeigt, mittels Zinnlot verbunden. Als konstante Bezugsgröße befand sich eine Lötstelle in schmelzendem Eis, die andere diente als Meßfühler in der Pulpa des zu untersuchenden Zahnes.

Nach Herstellung eines solchen Thermoelementes wurde zunächst eine Eichung der Anlage mit definierten Temperaturen durchgeführt. Dazu wurde Wasser von 10°, 20°, 30°, 37°, 40° und 50° C genommen.

# Prinzip des Versuchsaufbaus

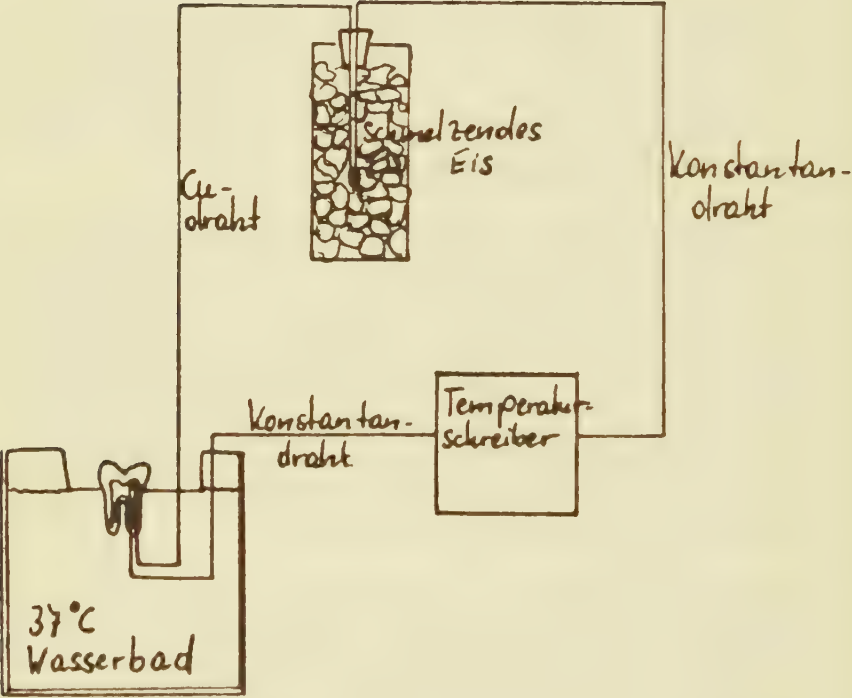


Abb. 3

Dann folgte die Präparation des Zahnes für den Versuch. Dazu wurde das Foramen apicale mittels eines schmalen Turbinendiamanten bei Wasserkühlung so erweitert, daß eine Millernadel ohne Widerstand zum Pulpdach hochgeschoben werden konnte. Anschließend wurde die eine Seite der verlöteten Drahtenden entsprechend der mit der Millernadel ermittelten Länge eingeführt.



Die Fixierung und der apikale Anschluß wurden mit einem Tropfen Kaltpolymerisat erreicht.

Der auf diese Weise vorbereitete Zahn wurde mittels einer speziellen Aufhängung so angebracht, daß die Wurzel in ein thermostatisch geregeltes, konstant 37° C betragendes Wasserbad ragte, entsprechend der durchschnittlichen Körpertemperatur.

Während der Hauptversuche befand sich der Zahn zusätzlich in einem nach einer Seite hin offenen Behälter, um annähernd die oralen Verhältnisse nachzuvollziehen. Denn wie bereits im Literaturüberblick erwähnt, ist das Temperaturverhalten im Zahn ausgehend von Zimmertemperatur verschieden von dem bei Mundtemperatur. Auch sind die Luftverhältnisse in einem fast geschlossenen Medium nicht die gleichen wie im freien Raum.

Weiterhin wurde mit einer fahrbaren SIEMENS-Sirona-Turbine gearbeitet, insbesondere mit ihrer Spraymatic. In den Hauptversuchen wurde zu einer montierten SIEMENS-Einheit übergegangen. Bei diesem Fabrikat handelt es sich um ein Zweidüsenkühlsystem. Sprayluft und Spraywasser werden getrennt zur Turbine geleitet, in einer Mischkammer vereinigt, in einen Ringkanal gebracht und aus zwei Düsen gesprüht, so daß ein feiner Nebel entsteht.

Die Absaugung erfolgte mit verschiedenen Geräten. Anfangs wurde in den Vorversuchen mit einem mobilen Absauggerät für chirurgische Eingriffe gearbeitet. Dieses Gerät funktioniert nach dem Saugpumpenprinzip und hat eine Saugleistung von 4-5 l/min. Da diese sich aber als nicht ausreichend erwies, wurde zur Anwendung einer fest montierten Vakuumabsauganlage

Universal-Saugkanüle der Firma Dürr-Dental



Abb. 4

der Fa. DÜRR übergegangen. Diese arbeitet nach dem Staubsaugerprinzip und ist eine Entwicklung von Elbert O. THOMPSON. „Ihre Saugleistung ist etwa 10 - 15 mal größer als die chirurgischer Absauggeräte. Der Luftstrom wird mit 150 - 250 km/h angesaugt. Die Absaugleistung beträgt 0,5 l Wasser pro Sekunde und mehr“ (42).

Der Aufbau der Absauganlage entsprach dem trockenen System mit einem Separierbehälter nach dem Fliehkraftprinzip.

Die Absaugkanüle wies einen Durchmesser von 1,0 cm auf und hatte eine leicht abgewinkelte Form (s. Abb. 4).

Weitere Versuchsgegenstände waren ein flammenförmiger Diamant zur Präparation der Zähne, sowie ein zweites Thermoelement, das an wechselnden Stellen angebracht wurde (siehe Vor- und Hauptversuche).

Die Temperaturdifferenzen wurden von einem 2-Kanal-Kompensationsschreiber bei 5mV und einer Papierlaufgeschwindigkeit von 25 mm/min aufgezeichnet.

So konnten die Temperaturen in der Pulpa gleichzeitig beobachtet und später exakt ausgewertet werden, um gemäß dem Ziel der Untersuchungen feststellen zu können, ob und inwieweit ein Einfluß der Spraynebelabsauganlage besteht.

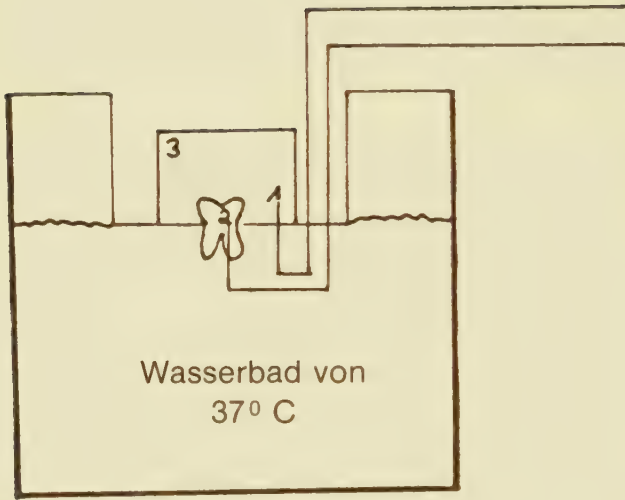


## 3. 2 Vorversuche

Die Vorversuche hatten zum Ziel, eine Methodik zu entwickeln, durch die gezeigt werden kann, inwieweit die Absaugung einen Einfluß auf die Temperaturen in der Pulpa hat.

Nachdem der Versuchsaufbau feststand, wurden zunächst mehrere Versuchsreihen begonnen, bei denen mit einer fahrbaren Turbine (Fa. SIEMENS), sowie einem mobilen chirurgischen Absauger (MEDAP) gearbeitet wurde. Als großer Nachteil der Turbine erwiesen sich die extremen Temperaturen im Kühlflüssigkeitsbehälter, die zu Temperaturschwankungen der Spraymatic zwischen 21° bis 29° C führten. Die Absaugung mittels Ambulanzsauger war nur ungenügend und nicht vergleichbar mit der Leistung einer großen Saugmaschine. Daraufhin wurden alle nachfolgenden Versuche an einer montierten Einheit mit Anschluß einer Sauganlage der Fa. DÜRR DENTAL durchgeführt.

Anfänglich erfolgte die Absaugung bei gleichzeitigem Beschleifen des Zahnes. Da der Schleifvorgang selbst allerdings so viele weitere, nicht standardisierte Faktoren in die Messungen einbringt (Anpreßdruck, Umdrehungszahl der Turbine, Art und Qualität des Schleifkörpers, Dauer des Beschleifens), wurde in den späteren Untersuchungen nur die Spraymatic der Turbine benutzt, mit Ausnahme eines Zwischenschrittes, in dem Substanz abgetragen wurde, um Vergleichsmöglichkeiten zwischen unbeschliffenem und beschliffenem Zahn zu haben.



- 1 = Außenthermoelement
- 2 = Thermoelement am Pulpdach
- 3 = nach vorne hin offenes Behältnis

Abb. 5

In einem weiteren Vorversuch wurde zur Kontrolle das Thermoelement nicht in die Pulpa, sondern ins Dentin geschoben. Dabei kam es zu einem etwas anderen Ergebnis als die Hauptversuche zeigten: Temperatursenkung bei Spraymatic, bei zusätzlicher Absaugung weiteres deutliches Absinken, vor allem bei ausschließlicher Luftansaugung äußerst starker Temperaturabfall.



### 3. 3 Hauptversuche

Die Hauptversuche wurden an zwölf kariesfreien, nicht gefüllten, extrahierten Zähnen durchgeführt, an jeweils vier Frontzähnen, vier Prämolaren und vier Molaren.

In der bereits oben beschriebenen Weise wurden sämtliche Zähne vorbereitet, d. h. ein Thermoelement wurde in das coronale Pulpencavum vorgeschoben. Ein zweites Element befand sich in unmittelbarer Zahnumgebung (2 cm Abstand), um eine Kontrolle der Außentemperaturen zu haben.

Die Untersuchungen wurden erst begonnen, wenn das im Zahn befindliche Thermoelement  $37^{\circ}\text{C}$  aufwies, entsprechend dem Wasserbad, in das die Zahnwurzel ragte.

Der Versuchsablauf erfolgte nach der in den Vorversuchen erprobten Methode.

Jedes Experiment gliederte sich in insgesamt 40 Teilschritte, die sich außer in den abwartenden Phasen über je 72 sec erstreckten — das entsprach 3 cm auf dem Registrierpapier.

Die Wartezeiten bis zum Wiedererreichen der  $37^{\circ}\text{C}$  schwankten je nach Ausmaß des vorherigen Temperaturabfalls und Art des Zahnes. In zwei Fällen wurde nach dem Beschleifen die Ausgangstemperatur nicht wieder erzielt, was auf ein Abdriften des Schreibers zurückzuführen ist.

Die große Anzahl der Teilschritte wird damit begründet, daß die Versuche zur Kontrolle mehrfach wiederholt werden sollten.



Zunächst wurde der Zahn nur dem am Turbinenkopf austretenden Wasser-Luftgemisch ausgesetzt; nach 72 sec erfolgte zusätzlich die sofortige Absaugung des Kühlwassers. Dies wurde in dreimaligem Wechsel nacheinander durchgeführt (s. Schritte 1-6). Dabei befanden sich sowohl Turbinenkopf als auch Absaugkanüle unmittelbar am Zahn. Anschließend wurde abgewartet, bis im Inneren wieder  $37^{\circ}\text{C}$  erreicht waren (s. Schritt 7).

Daraufhin folgten zwei Durchgänge, in denen die Saugkanüle in direkter Nähe des Zahnes lag, während dabei nur Luft angesaugt wurde, wie es oft in Zwischenphasen bei Präparationen der Fall ist. Auch dieser Schritt wurde 72 sec lang durchgeführt im Wechsel mit einer 72 sec dauernden Unterbrechung, in der sich die Temperatur in der Pulpa kurzfristig erholen konnte (s. Schritte 8-10). Nachdem das Thermoelement wieder  $37^{\circ}\text{C}$  anzeigte, wurde wieder abwechselnd mit Spraymatic und Spraymatic mit gleichzeitiger Absaugung gearbeitet. Im Gegensatz zu den Schritten 1-6 wurde aber eine 72 sec dauernde Pause dazwischengeschoben, um die Einflüsse zeitlich zu trennen und eine deutlichere Differenzierung des unterschiedlichen Temperaturverhaltens zu erhalten. In den Pausen befand sich die Zahnkrone je nach vorausgegangener Bearbeitung entweder umgeben vom angefallenen Kühlwasser, das sich infolge des konstant  $37^{\circ}\text{C}$  warmen Wasserbades am Behälterboden rasch erwärmte, oder in Lufttemperatur (s. Schritte 12 - 21).

Nach der ersten Runde und wiedererreichten  $37^{\circ}\text{C}$  im Innern wurde der Zahn beschliffen (s. Schritt 22). Die hierbei auftretenden Temperaturverläufe sollen aber bei der Auswertung der Versuche keine Rolle spielen, da die Parameter wie Anpreßdruck, Umdrehungsgeschwin-



digkeit u. v. m., die beim Beschleifen mitwirken, nicht standardisiert worden waren. Ziel war nur eine Substanzabtragung, um darzustellen, ob diese in der Versuchsreihe einen Einfluß hat. Der Substanzverlust hatte ein Ausmaß, das der Präparation für eine Krone entspricht.

Mit dem beschliffenen Zahn wurde anschließend in ähnlicher Art und Weise verfahren wie mit dem unbeschliffenen.

Zunächst wurde mit dem Kühlwasser-Luftgemisch berieselt, danach folgte wieder die zusätzliche Absaugung, daraufhin wurde direkt am Zahn mittels der Spraynebelabsauganlage Luft aspiriert (s. Schritte 25-40). Allerdings wurde in der 2. Runde auf das Wiedererreichen der 37° C in der Pulpa zwischen den Teilschritten verzichtet.

Der Sinn des Versuchablaufes bestand darin, einen Vergleich der Meßwerte bei reiner Sprayberieselung aus der Turbine, zusätzlicher gleichzeitiger Absaugung und bei ausschließlicher Luftaspiration zu haben.

## **Versuchsablauf (Reihenfolge):**

### **1. Runde**

- |                                                                                 |         |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Schritt: Spraymatic der Turbine                                              | (S)     |
| 2. Schritt: Spraymatic + Absaugung                                              | (S + A) |
| 3. Schritt: Spraymatic                                                          |         |
| 4. Schritt: Spraymatic + Absaugung                                              |         |
| 5. Schritt: Spraymatic                                                          |         |
| 6. Schritt: Spraymatic + Absaugung                                              |         |
| 7. Schritt: Krone in Lufttemperatur,<br>Warten bis 37° C<br>wiedererreicht sind | (W)     |
| 8. Schritt: Alleinige Luftansaugung                                             | (A)     |
| 9. Schritt: Pause von 72 sec                                                    | (Stop)  |
| 10. Schritt: Alleinige Luftansaugung                                            |         |



11. Schritt: Krone in Lufttemperatur, Warten bis 37° C wiedererreicht sind
12. Schritt: Spraymatic
13. Schritt: Pause von 72 sec
14. Schritt: Spraymatic + Absaugung
15. Schritt: Pause von 72 sec
16. Schritt: Spraymatic
17. Schritt: Pause von 72 sec
18. Schritt: Spraymatic + Absaugung
19. Schritt: Spraymatic
20. Schritt: Spraymatic + Absaugung
21. Schritt: Spraymatic
22. Schritt: Krone in Lufttemperatur, Warten bis 37° C wiedererreicht sind
23. Schritt: Intermittierendes Beschleifen des Zahnes
24. Schritt: Krone in Lufttemperatur, Warten bis 37° C wiedererreicht sind

## **2. Runde**

25. Schritt: Spraymatic
26. Schritt: Spraymatic + Absaugung
27. Schritt: Spraymatic
28. Schritt: Spraymatic + Absaugung
29. Schritt: Pause von 72 sec
30. Schritt: Alleinige Luftansaugung
31. Schritt: Pause von 72 sec
32. Schritt: Alleinige Luftansaugung
33. Schritt: Pause von 72 sec
34. Schritt: Spraymatic
35. Schritt: Pause von 72 sec
36. Schritt: Spraymatic + Absaugung
37. Schritt: Pause von 72 sec
38. Schritt: Spraymatic
39. Schritt: Pause von 72 sec
40. Schritt: Spraymatic + Absaugung



Während dieses Versuchsablaufes wurden sowohl die Temperaturen im Inneren der Pulpa als auch außerhalb des Zahnes im Abstand von 2 cm von dem 2-Kanal-Kompensationsschreiber aufgezeichnet, um auch hier einen Vergleich ziehen zu können.

Ziel der Arbeit ist letztendlich festzustellen, inwieweit die Spraynebelabsauganlage die Temperaturen in der Pulpa beeinflusst.



## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Einzelergebnisse**

In den nachfolgenden Abbildungen 6 - 29 sind die Temperaturverläufe aufgezeichnet, die von dem Thermoelement im Inneren der Pulpa (In) sowie außerhalb (Au) registriert wurden. Dabei werden die Temperaturschwankungen dargestellt, die durch die Einflüsse der Spraymatic (S) sowie der Spraymatic und gleichzeitiger Absaugung (S + A) auftreten, zum einen im beschliffenen, zum anderen im unbeschliffenen Zustand des Zahnes.

In dem oberen Diagramm sind jeweils die Kurvenverläufe der Versuchsabschnitte 1 - 6 und 25 - 28, also bei ständigem Wechsel zwischen Sprayberieselung und Sprayberieselung mit zusätzlicher Absaugung wiedergegeben, in dem unteren Diagramm die der Schritte 12 - 18 sowie 34 - 40, also bei ständigem Wechsel mit einer jeweils dazwischengeschobenen Pause von 72 sec (= Stop).

Die Abbildungen 6 - 13 zeigen die Temperaturen in den untersuchten Molaren (Versuche I-IV), die Abbildungen 14 - 21 in den Frontzähnen (Versuche V-VIII), die Abbildungen 22 - 29 in den Prämolaren (Versuche IX-XII).

c]

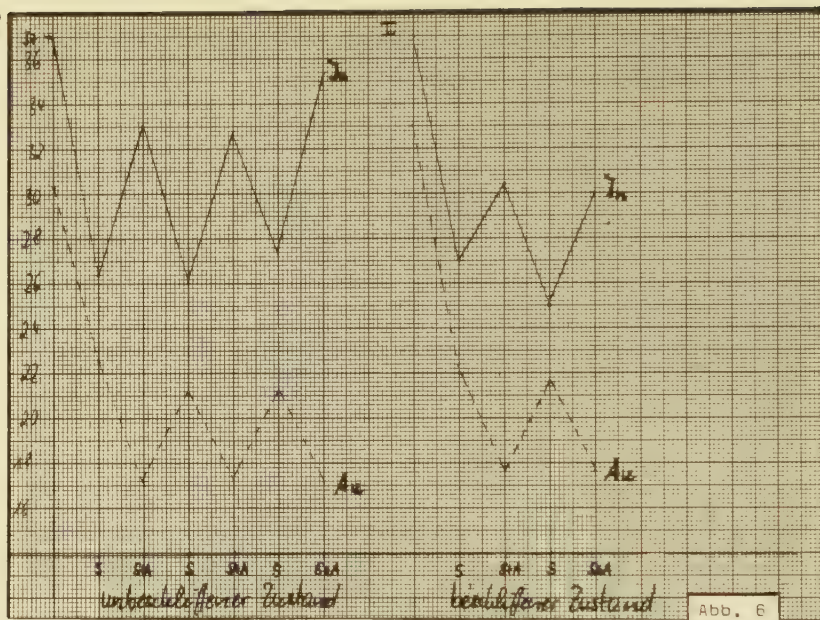


Abb. 6

d]

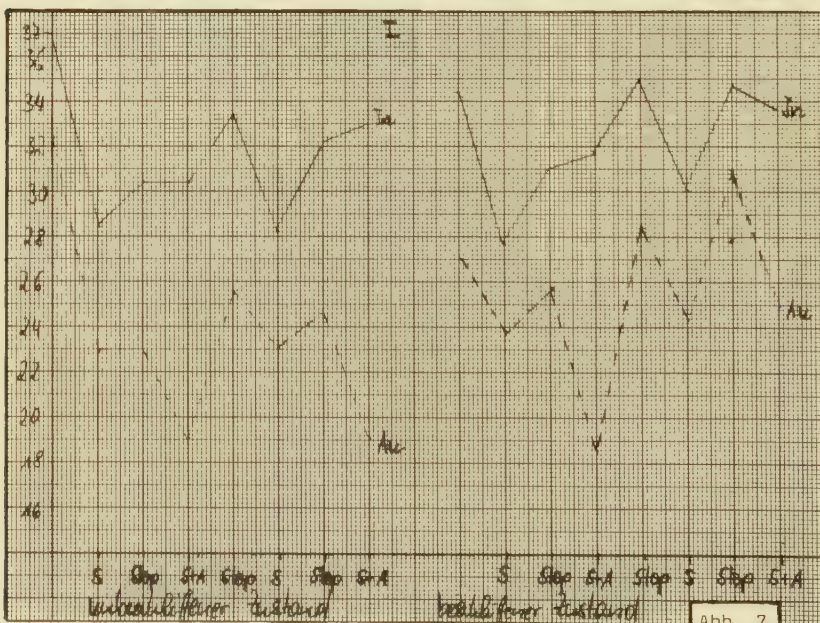


Abb. 7

## **Zu Abbildung 6 und Abbildung 7**

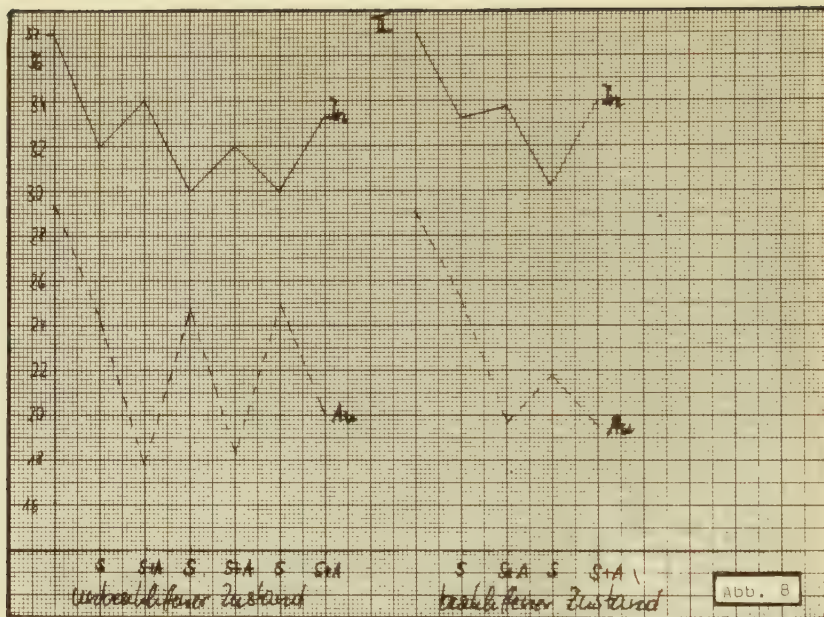
In den Versuchsabschnitten 1 - 6 (linkes Diagramm) zeigen die Außen- und Innentemperaturen ein fast gegenläufiges Verhalten zueinander.

Beim Auftreffen der Spraymatic (S) sinken die Temperaturen im Inneren auf Werte zwischen  $27,5^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  C bei Außenwerten von  $21,2^{\circ}$  -  $22^{\circ}$  C; während bei Annäherung der eingeschalteten Saugkanüle (S+A) der Betrag unmittelbar auf  $17,2^{\circ}$  -  $17,8^{\circ}$  C abfällt, erwärmt sich die Pulpa auf maximal  $30,5^{\circ}$  C im beschliffenen Zustand und maximal  $35,4^{\circ}$  C im unbeschliffenen.

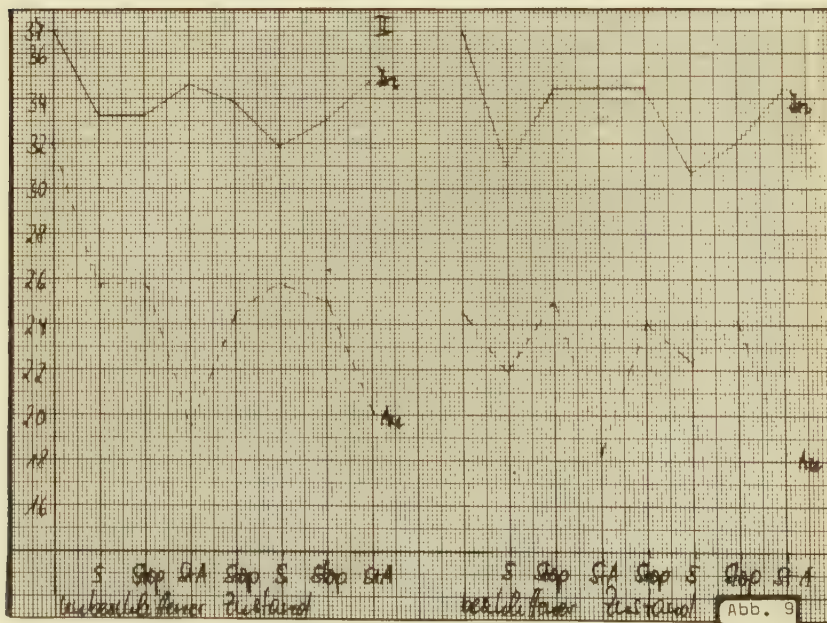
Trotz der dazwischengeschalteten Pausen von 72 sec (Stop) läßt das untere Diagramm ein ähnliches Verhalten erkennen. Kühlwasserberieselung führt zur Senkung bis auf  $27,9^{\circ}$  C bei einem äußeren Wert von  $23,8^{\circ}$  C, in den Pausen kommt es zu einem kurzfristigen Ansteigen der Temperaturen im Zahn.

Auch hier liegen die Innentemperaturen bei Spraymatic und gleichzeitiger Absaugung (S+A) deutlich über denen bei ausschließlicher Sprayberieselung, während das Außenelement bedeutend tiefere Werte angibt.

[°C]



[°C]



## **Zu Abbildung 8 und Abbildung 9**

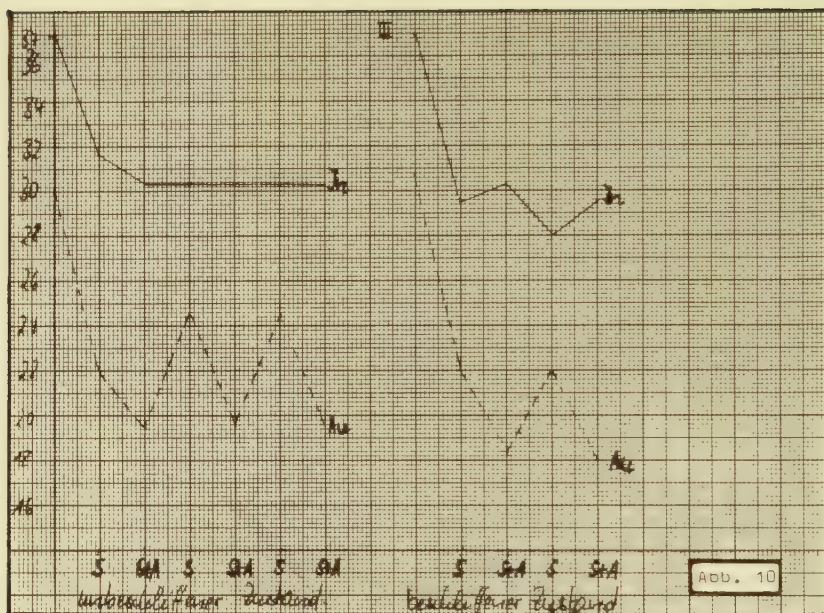
Die Temperaturverläufe zeigen ein Bild ähnlich dem von Versuch I.

Auch hier erzeugt eine sofortige Entfernung der Kühlflüssigkeit eine Temperaturerhöhung im Vergleich zur reinen Spraymatic, obwohl die Außentemperaturen im Bereich der Saugkanüle bis auf  $18^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  C absinken.

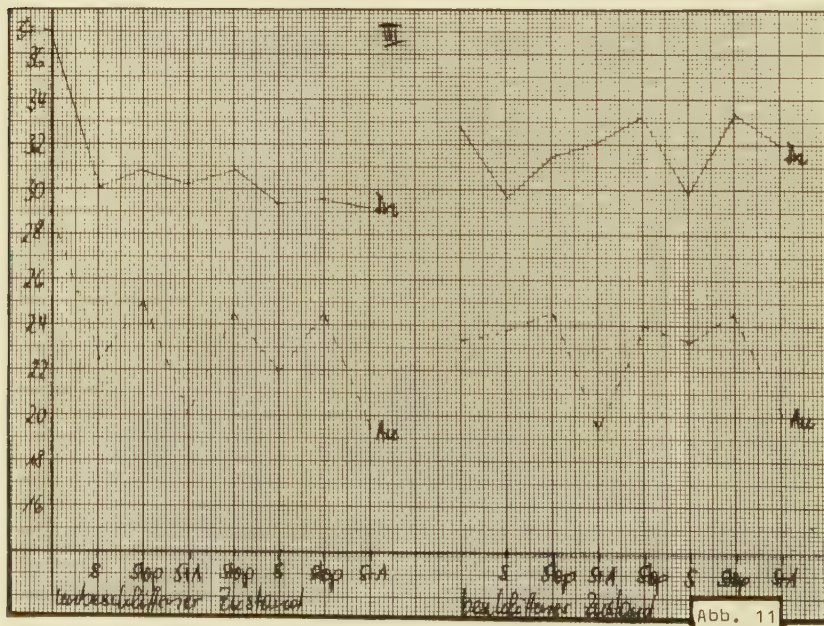
Die Innentemperaturen sinken allerdings nicht so stark wie im vorhergehenden Versuch; der tiefste Wert liegt bei  $30^{\circ}$  C.

Das Intervall der Temperaturschwankungen bei beschliffenem und unbeschliffenem Zahn ist gleich groß.

[°C]



[°C]

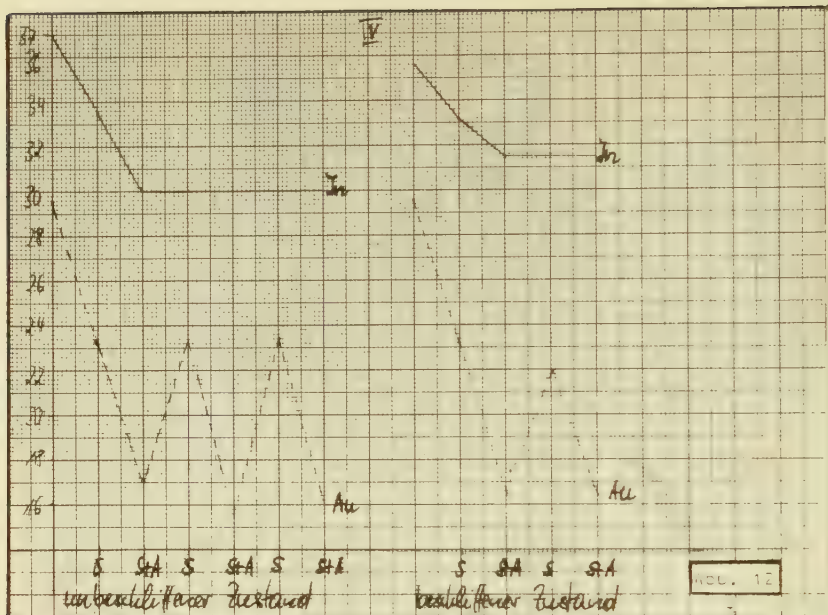


## **Zu Abbildung 10 und Abbildung 11**

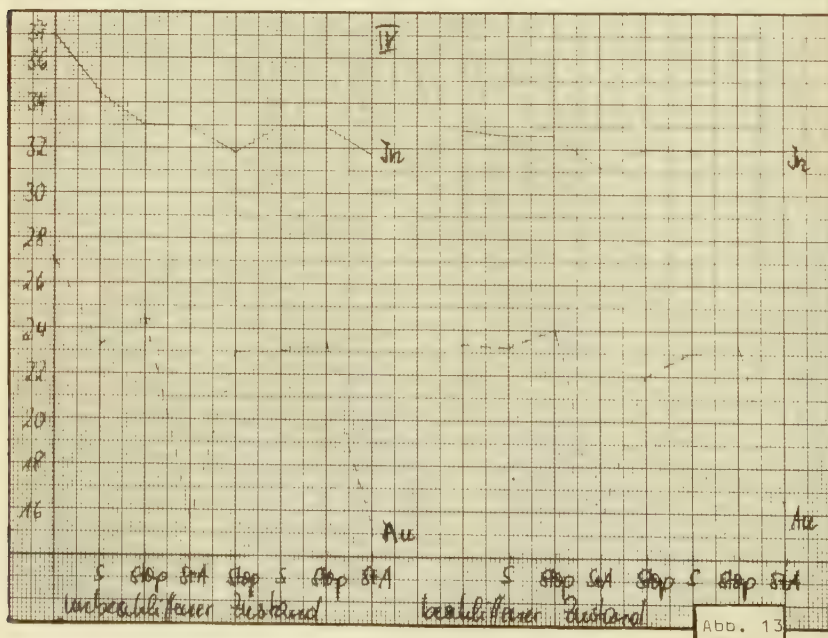
In den Schritten 1 und 2 fällt die Temperatur stetig bis auf  $30,3^{\circ}\text{C}$ , um dann konstant zu bleiben. In den Abschnitten 25 - 28 sinkt bei Kühlwassertemperatur von  $22^{\circ}\text{C}$  die Innentemperatur bis auf  $28^{\circ}\text{C}$ . Bei  $18^{\circ} - 19,5^{\circ}\text{C}$  in Saugernähe ergeben sich in der Pulpa Beträge von  $29,5^{\circ}\text{C}$  bzw.  $30,3^{\circ}\text{C}$ .

Das untere Diagramm gibt auch ein fast konstantes Verhalten im unbeschliffenen Zustand wieder, während im beschliffenen Schwankungen zwischen  $29,9^{\circ}\text{C}$  bei Sprayberieselung und  $32^{\circ}\text{C}$  bei zusätzlicher Absaugung auftreten.

°C]



°C]

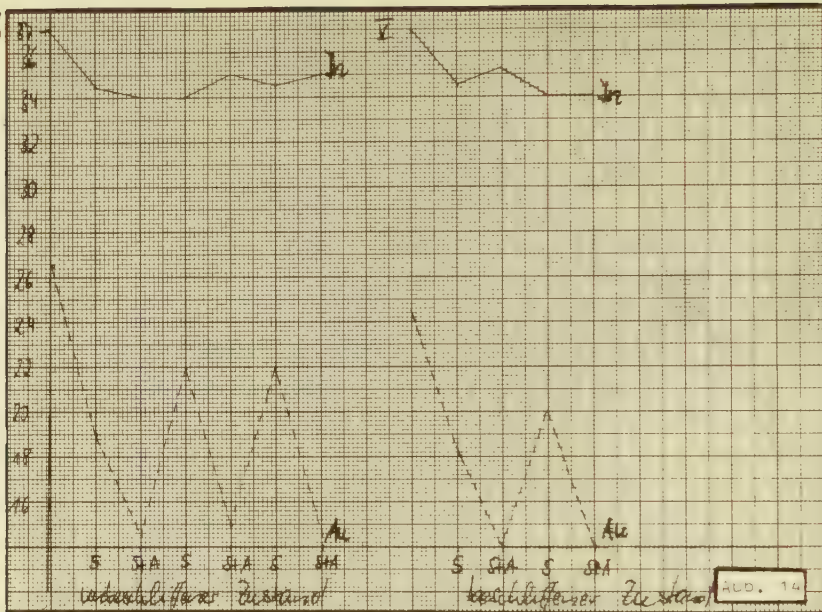


## **Zu Abbildung 12 und Abbildung 13**

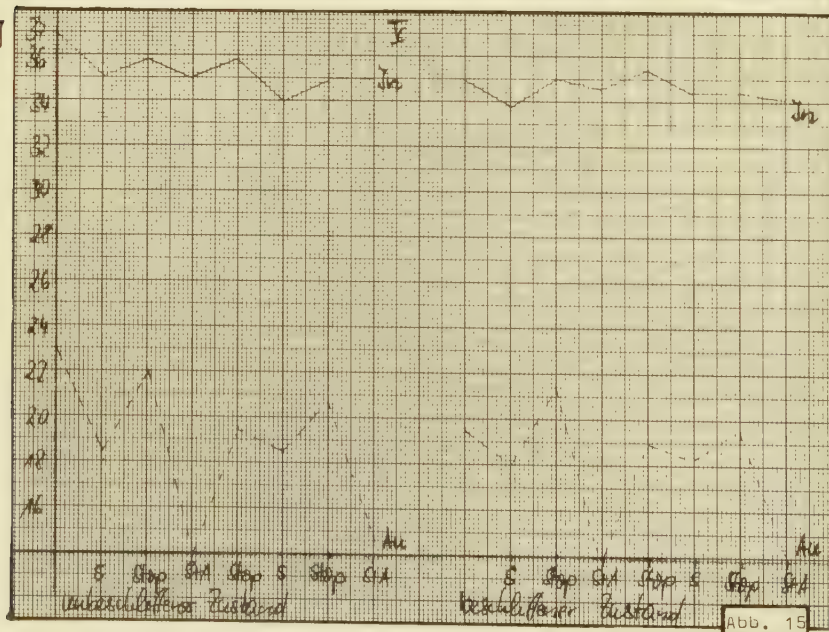
Gleich innerhalb der ersten 144 sec sinkt die Temperatur auf  $30^{\circ}\text{C}$  vor Substanzabtragung und  $31,5^{\circ}\text{C}$  nach Abtragung und bleibt danach unabhängig von den äußeren Einflüssen konstant.

Dieses gleichmäßige Verhalten zeigt sich auch trotz der zwischengeschalteten Stops von 72 sec , so daß die Innentemperaturen zwischen  $32^{\circ}\text{C}$  -  $33^{\circ}\text{C}$  bzw.  $31,2^{\circ}\text{C}$  -  $32,5^{\circ}\text{C}$  pendeln. Ausgehend von  $27,2^{\circ}\text{C}$  kühlt die Luft in dem Behälter bis auf  $15,8^{\circ}\text{C}$  an der Absaugkanüle ab.

[°C]



[°C]



### **Zu Abbildung 14 und Abbildung 15**

In beiden Diagrammen liegt die tiefste Temperatur, die im Inneren registriert wurde, bei  $34^{\circ}\text{C}$ , gemessen bei Berieselung mit Kühlwasser, das zwischen  $18^{\circ}\text{C}$  -  $22^{\circ}\text{C}$  warm war.

Die Werte bei S + A bewegen sich zwischen  $34^{\circ}\text{C}$  -  $35^{\circ}\text{C}$ , während zur gleichen Zeit  $14^{\circ}\text{C}$  außen herrschten.

Two line graphs showing the relationship between water level (H) and water temperature (T) for two different states: 'unberührt' (untouched) and 'berührt' (touched). The y-axis represents temperature in degrees Celsius (°C) from 16 to 24. The x-axis represents water level (H) with markers S, SA, S, SA, S, SA. The 'unberührt' graph shows a solid line for H and a dashed line for T. The 'berührt' graph shows a solid line for H and a dashed line for T. A red box in the bottom right corner contains the text 'abt. 16'.

VI

unversch. ferner Zustand

besch. ferner Zustand

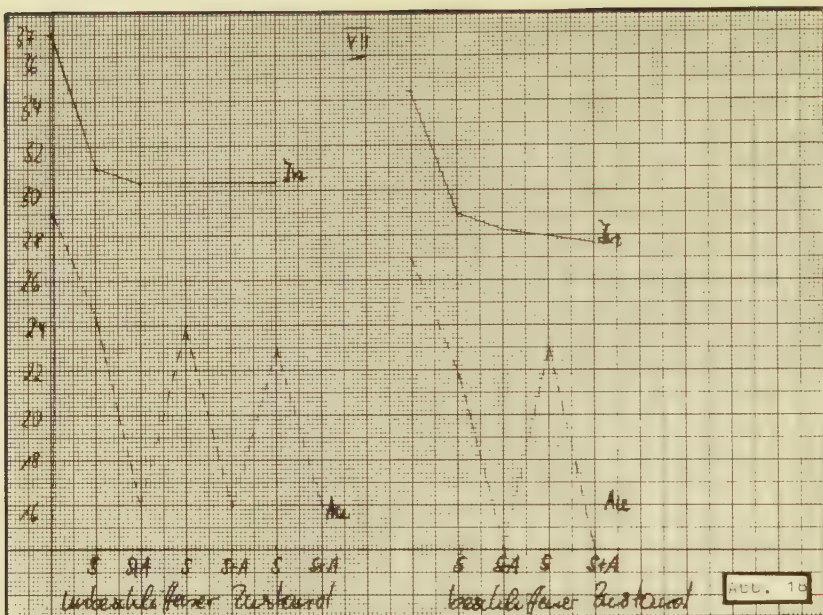
Abb. 17

## **Zu Abbildung 16 und Abbildung 17**

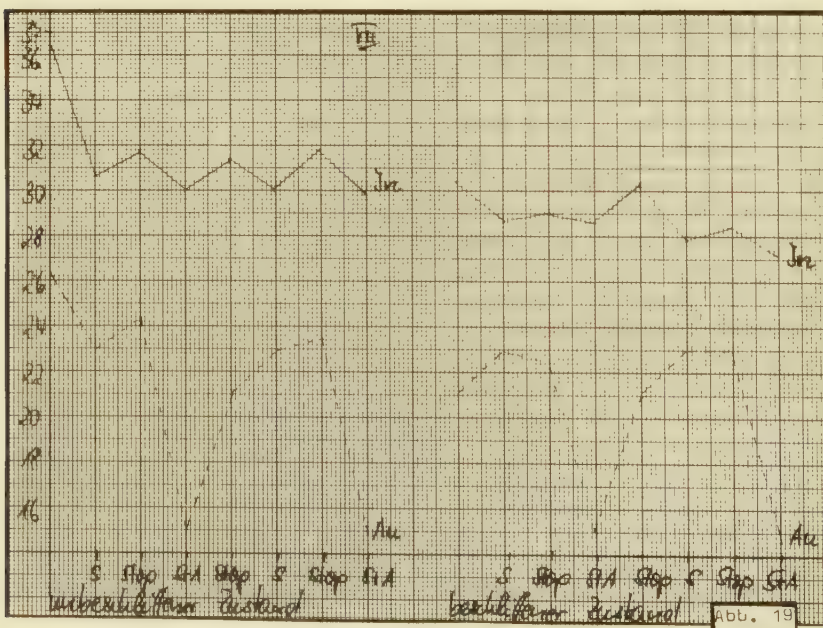
In den ersten 216 sec ist in beiden Abbildungen ein anfängliches Kurvengefälle zu beobachten, unabhängig von den äußeren Einflüssen. Im weiteren Verlauf liegen die Temperaturen bei Versuchsschritt S + A über den Werten der Abschnitte S oder sind mit diesen identisch.

Sowohl beschliffener als auch unbeschliffener Zustand liefern dasselbe Bild; ebenso ist das Verhalten trotz der dazwischengeschobenen Pausen.

°C]



°C]

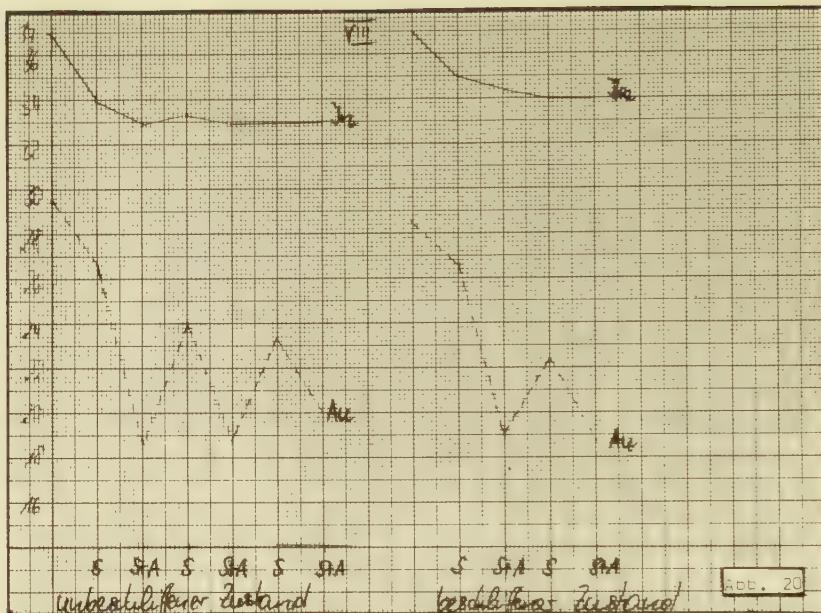


## **Zu Abbildung 18 und Abbildung 19**

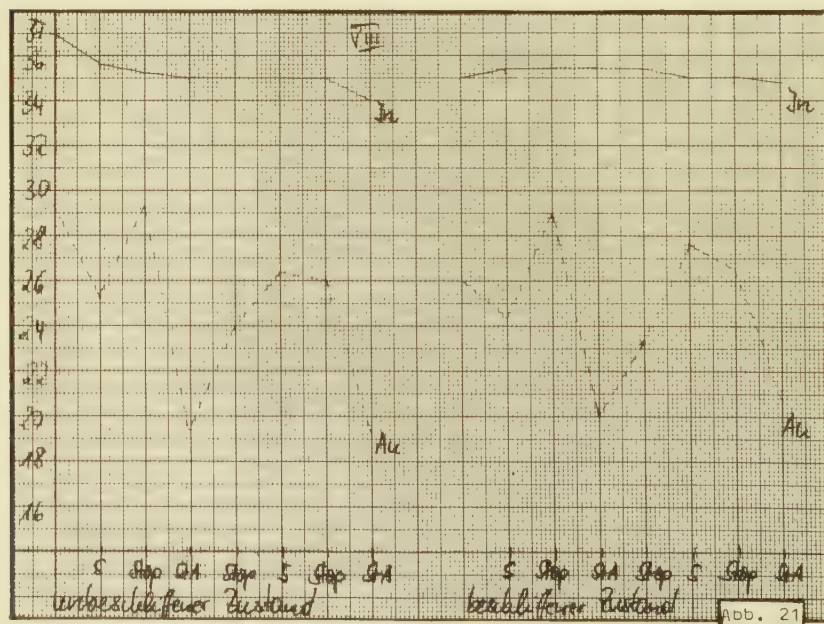
Hier ist das Verhalten der Temperaturen in der Pulpa noch gleichmäßiger als im vorhergehenden Versuch VI. In den Abschnitten 1 - 6 pendelt sich der Wert nach 144 sec auf konstanten  $30,4^{\circ}\text{C}$  ein, in den Schritten 25 - 28 fällt er nach den 144 sec nur noch um weitere  $0,4^{\circ}\text{C}$  ab. Allerdings wird vor Beginn der 2. Runde die gewünschte Ausgangstemperatur von  $37^{\circ}\text{C}$  nicht wieder erreicht.

Auch in den Schritten 12 - 18 sowie 34 - 40 bleiben die Ergebnisse weitgehend unverändert und steigen nur in den Ruhephasen an.

[°C]



[°C]

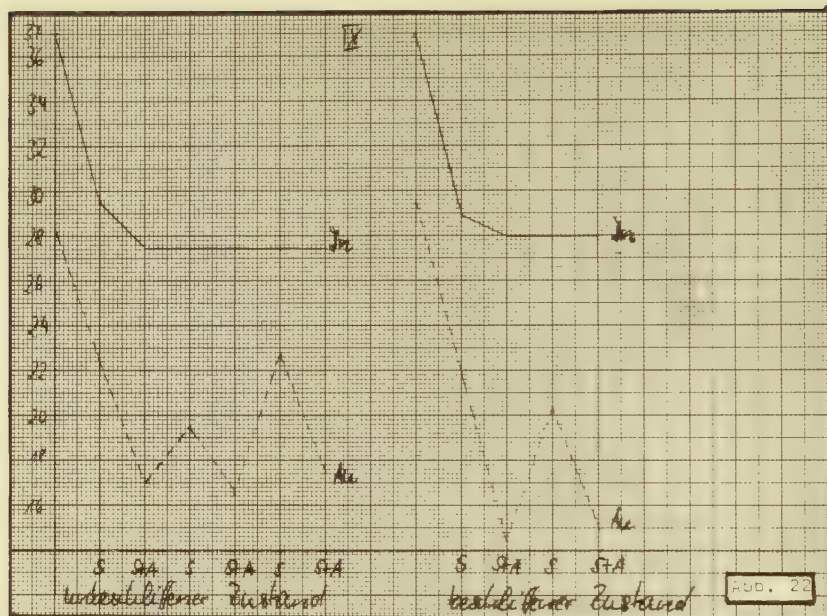


## **Zu Abbildung 20 und Abbildung 21**

Im oberen Diagramm fällt die Kurve bis zur Grenze von  $33^{\circ}\text{C}$  bzw.  $34^{\circ}\text{C}$ , in der unteren Zeichnung bewegt sich der Wert zwischen  $34^{\circ}$  -  $34,5^{\circ}\text{C}$  und sinkt zum Versuchsende hin nochmals um  $0,8^{\circ}$  -  $1^{\circ}\text{C}$  ab.

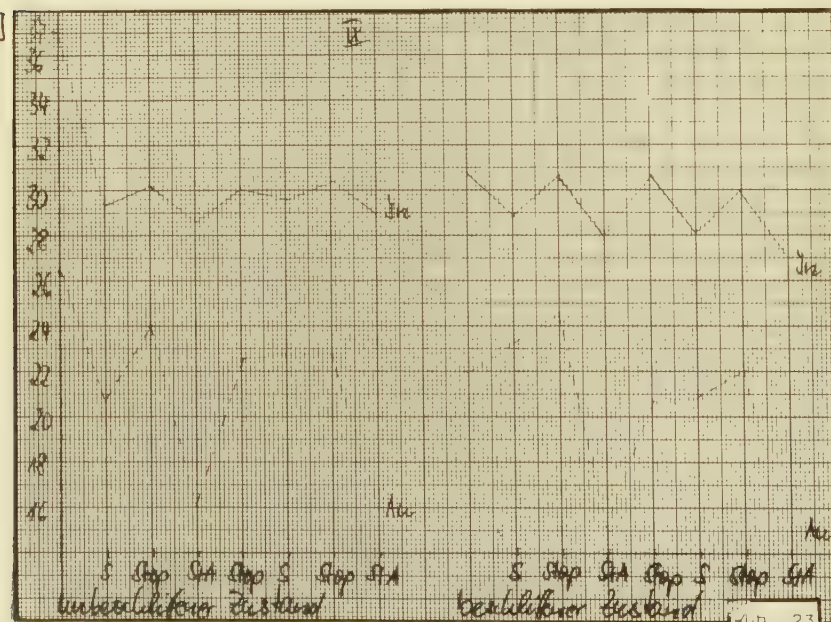
Anhand der Kurven, die von dem Außenelement registriert wurden, läßt sich auch hier erkennen, daß innerhalb eines Versuchsablaufes die Temperatur des Kühlmittels erheblich variiert.

[°C]



A.D. 22

[°C]



A.D. 23

## **Zu Abbildung 22 und Abbildung 23**

Der Kurvenverlauf zeigt eine ähnliche Gestalt wie in Versuch VII. Innerhalb der ersten beiden Versuchsabschnitte erreicht die Temperatur  $27,5^{\circ}$  bzw.  $28^{\circ}$  C, um anschließend diesen Wert beizubehalten.

Nach den dazwischengeschalteten Pausen wird erstmals eine stärkere Kühlwirkung bei zusätzlicher Absaugung deutlich. Die Minimalwerte liegen um  $0,8^{\circ}$  -  $1^{\circ}$  C unter denen bei reiner Sprayeinwirkung.

[°C]

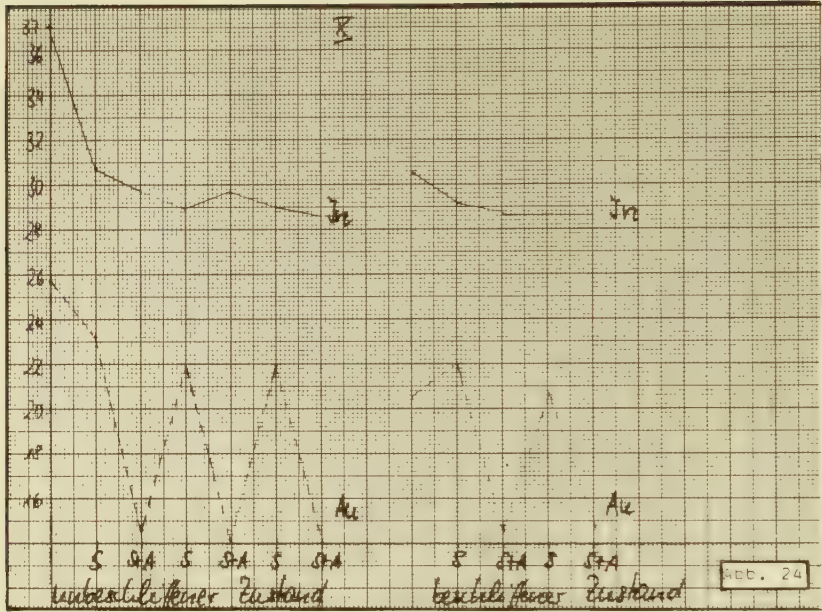


Abb. 24

[°C]

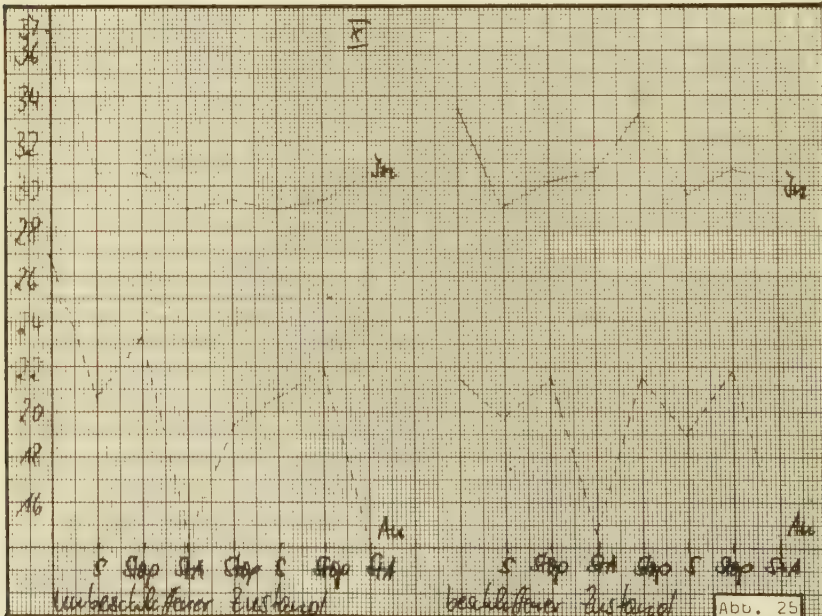


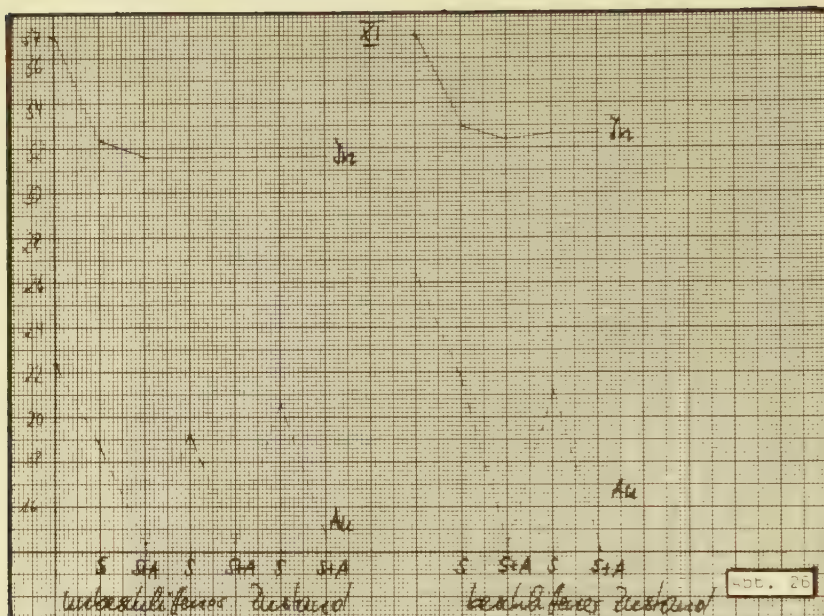
Abb. 25

## **Zu Abbildung 24 und Abbildung 25**

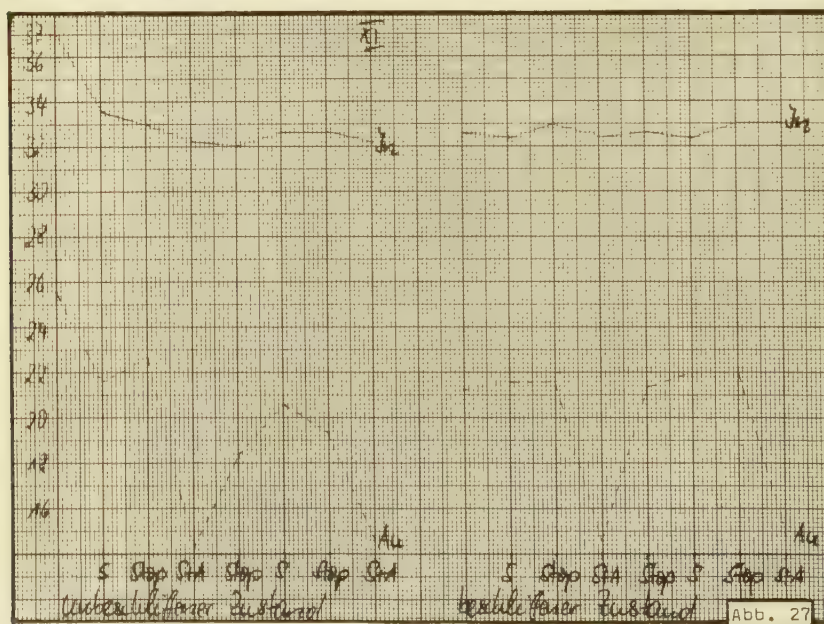
In den Versuchsschritten 1 - 6 fällt die Temperatur bis auf  $29^{\circ}\text{C}$ , steigt bei Annäherung des Saugers, in dessen Nähe nur  $14^{\circ}\text{C}$  herrschen, um  $0,8^{\circ}\text{C}$  an, um dann wieder stetig zu sinken. Im beschliffenen Zustand pendelt sich der Wert auf  $28,8^{\circ}\text{C}$  ein, ausgehend von  $30,5^{\circ}\text{C}$ , da nach der Präparation trotz langen Wartens die gewünschten  $37^{\circ}\text{C}$  nicht mehr in der Pulpa zu messen waren.

In der unteren Zeichnung variieren die Meßpunkte bei S und S + A zwischen  $29^{\circ}\text{C}$  und  $30,6^{\circ}\text{C}$ .

[°C]



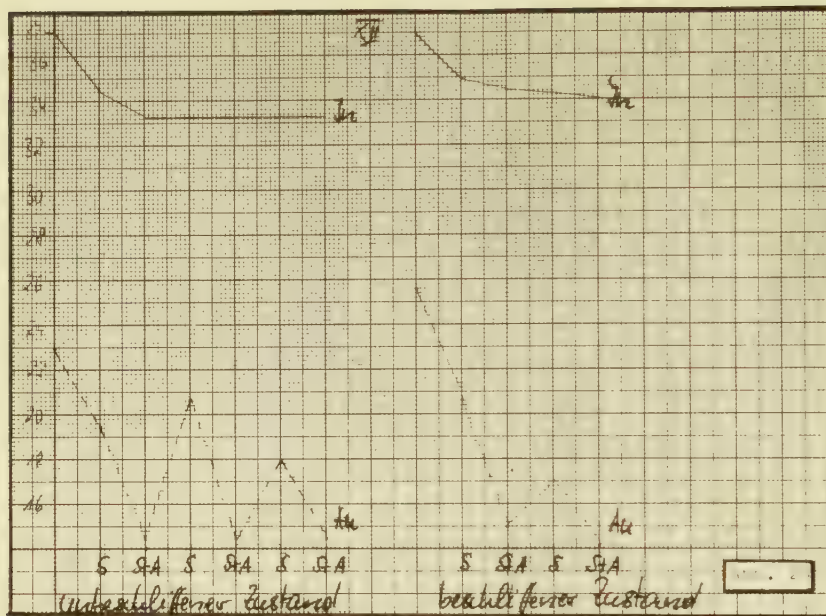
[°C]



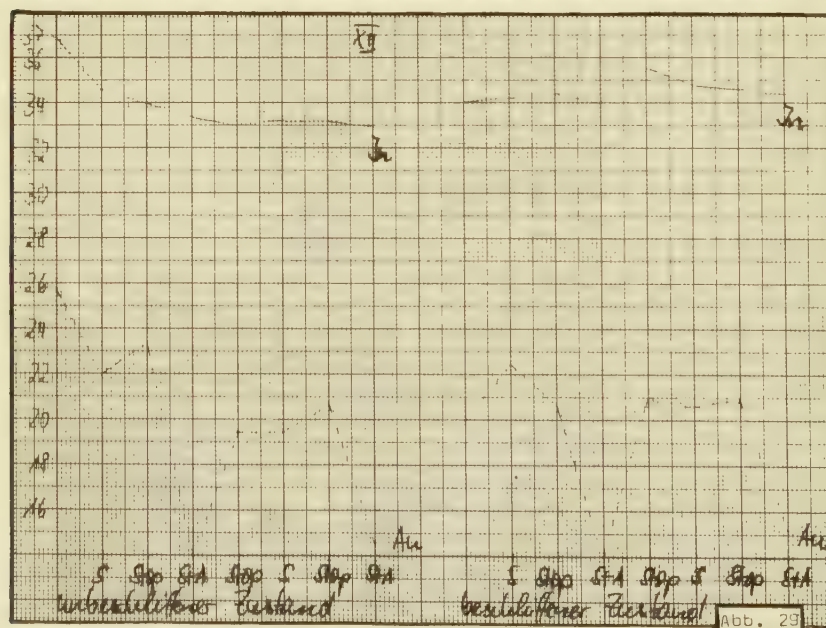
### **Zu Abbildung 26 und Abbildung 27**

Sämtliche vier Kurven zeigen nach anfänglichem Gefälle einen fast waagerechten Verlauf bei Werten zwischen  $31,8^{\circ}$  -  $32,8^{\circ}$  C.

[°C]



[°C]



## **Zu Abbildung 28 und Abbildung 29**

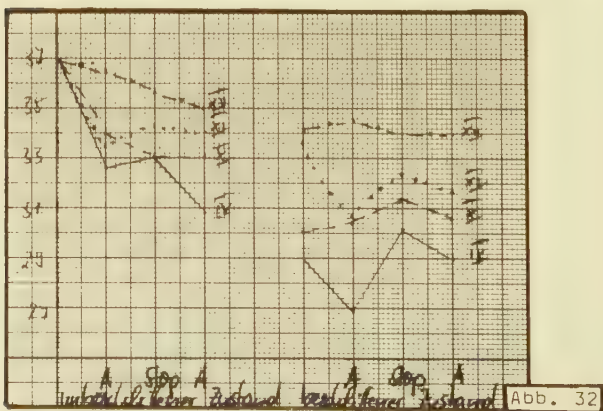
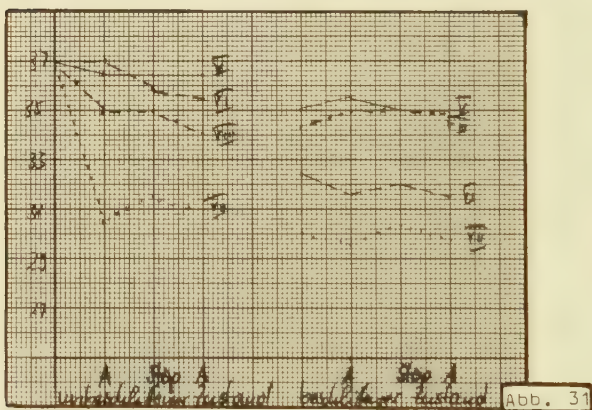
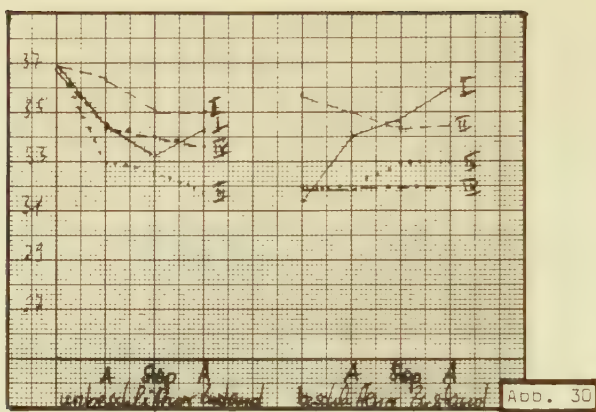
In beiden Abbildungen sind Kurvenverläufe sichtbar, die denen des vorhergehenden Versuchs annähernd parallel sind. Allerdings liegen die Temperaturen mit  $33^{\circ}\text{C}$  als unterer Grenze über denen von Versuch XI.



Die Abbildungen 30 - 32 entsprechen den Versuchsschnitten 8 - 10 und 30 - 32. Dabei wurde der jeweilige Zahn 72 sec der alleinigen Absaugung ausgesetzt, anschließend folgte eine Ruhephase von 72 sec ohne Absaugung (= Stop) und ein weiterer Absaugvorgang (A).

Auch hier wurde zwischen unbeschliffenem Zahn (linke Abb.) und beschliffenem (rechte Abb.) differenziert.

Abbildung 30 zeigt die Temperaturverläufe der Molaren (I - IV), Abbildung 31 die der Frontzähne (V - VIII), Abbildung 32 die der Prämolaren (IX - XII).



## **Zu Abbildung 30 - Abbildung 32**

In allen Versuchen fällt die Temperatur in der Pulpa bei Annäherung der Absaugkanüle mehr oder weniger stark ab. In den meisten Fällen ist eine weitere überschießende Reaktion in die Unterbrechungsphase hinein erkennbar. Nur in den Versuchen VII, IX und XI erwärmt sich das Zahninnere kurzfristig, um bei erneuter Luftansaugung nochmals abzukühlen.

Eine Ausnahme stellt Versuch I dar; hier steigt die Kurve beim zweiten Absaugversuch um  $1^{\circ}\text{C}$  an.

Die stärkste Auswirkung der Spraynebelabsauganlage ist bei Versuch VII zu sehen; die Temperatur sinkt von  $37^{\circ}\text{C}$  auf  $31,5^{\circ}\text{C}$ .

Nach der Substanzabtragung kommt es sowohl zu steigenden Temperaturverläufen wie in Versuch I, III, VIII und X, fallenden wie bei Versuch II und XI und nahezu konstanten wie bei Versuch IV, V, VI, VII und XII. Das größte Temperaturgefälle liegt hier bei  $3^{\circ}\text{C}$ .



## 4. 2. Zusammenfassende Betrachtung

Auf Grund von Untersuchungen an zwölf kariesfreien und ungefüllten Zähnen entsprechend einem genau festgelegten Versuchsschema ergeben sich folgende Resultate:

In der Pulpa der Zähne, ausgehend von dem physiologischen Wert von  $37^{\circ}\text{C}$ , sinken bei Auftreffen der Kühlflüssigkeit und der Luft, die am Bohrerkopf mitaustritt, die Temperaturen zwischen  $2,8^{\circ}\text{C}$  bis maximal  $11^{\circ}\text{C}$ , gleich ob es sich um einen Molaren, Prämolaren oder Frontzahn handelt. Saugt man die Flüssigkeit sofort ab, so treten durch diesen Vorgang kaum wesentliche Veränderungen auf. Ausgenommen werden müssen zwei Versuche an Molaren, bei denen die Absaugung der kalten Spraymatic zu einem überraschenden Temperaturanstieg in der Pulpa führt.

Bei intermittierender Arbeitsweise im Rhythmus von 72 sec erholen sich in den Wartephasen die Werte im Sinne eines Anstiegs und fallen anschließend nicht so stark ab.

Eine Kontrolle der Außentemperaturen, die gleichzeitig mitaufgezeichnet wurden, liefert ein anderes Bild. Während die alleinige Spraymatic zwischen  $19^{\circ}\text{C}$  und  $26,8^{\circ}\text{C}$  schwankt, mißt die Zahnumgebung in unmittelbarer Nähe des Absaugrohres zwischen  $14^{\circ}\text{C}$  und  $19,8^{\circ}\text{C}$ . Das bedeutet also, daß nicht ständig ein paralleler Verlauf zwischen Innen- und Außentemperaturen besteht.

Die gleiche Versuchsreihe bei beschliffenem Zustand des Zahnes führt zu fast identischen Ergebnissen, obwohl hier die Schutzschicht des Schmelzes entfernt ist.



Allerdings liegen die Spraytemperaturen auf Grund der fortgeschrittenen Versuchszeit zum Teil um  $2^{\circ}\text{C}$  über denen zu Versuchsbeginn.

Bei ausschließlicher Annäherung der Spraynebelabsauganlage kommt es überwiegend zu einer Abkühlung in der Pulpa bis auf  $29,9^{\circ}\text{C}$ . Hier fallen die Ergebnisse nach Substanzabtragung sogar bis auf  $27^{\circ}\text{C}$ .

Bei vier beschliffenen Zähnen aber steigen die Temperaturen ausgehend von Werten zwischen  $30^{\circ} - 33,4^{\circ}\text{C}$  trotz Luftaspiration an. Die Außentemperaturen in der Nähe der Saugkanüle sind gleich niedrig, ob mit oder ohne Spraymatic gearbeitet wird.

Insgesamt setzen sich die Veränderungen in der Zahn-umgebung sehr schnell bis zur Pulpa durch. Die ersten Temperaturschwankungen sind schon nach 5 sec zu verzeichnen. Durch diese zeitliche Verzögerung wird auch oft ein Temperaturnachlauf beobachtet.

Zusätzlich zu den Diagrammen wurden die Versuchsschritte 7, 11, 22 und 24 ausgewertet, bei denen nach vorausgegangener Bearbeitung des Zahnes gewartet wurde, bis die physiologischen  $37^{\circ}\text{C}$  in der Pulpa wiedererreicht wurden. Je nach Ausmaß des vorherigen Temperaturabfalles bedarf es unterschiedlicher Zeiten (5,2 - 15,2 min), bis sich die Pulpentemperatur auf  $37^{\circ}\text{C}$  wiedererwärmt hat. Beim beschliffenen Zahn erholt sich das Innere meist schneller.



## 5. Diskussion

Fußend auf der Konstruktion der Nähmaschine erfand der New Yorker Zahnarzt James Beall Morrison im Jahre 1871 die Tretbohrmaschine (25). Im Rahmen der Weiterentwicklung wurde fortwährend eine Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Bohrer angestrebt, um ein rationelles Arbeiten und eine kürzere Behandlungszeit, vor allem im Interesse des Patienten zu erzielen. Heute erreicht man durch luftgetriebene Turbinen Drehzahlen bis 400.000 U/min und mehr, so daß auch ein fast druckloses Präparieren ermöglicht wird.

Damit werden die auslösenden Parameter für Schmerzen bei der Bearbeitung der Zahnhartsubstanz Druck, Temperatur und Vibration (37) weitgehend reduziert.

Da die spürbare Vibrationsgrenze bei 1000 Hz liegt, das entspricht 3000 U/sec (45), wird bei Verwendung höchsttouriger Instrumente dieser Reiz ausgeschaltet. Der Anpreßdruck ist weitaus geringer als der, der bei niedertourigen Geräten notwendig ist, vorausgesetzt, es wird mit scharfen Schleifkörpern und leichter Hand gearbeitet.

So bleibt nur noch das Temperaturproblem.

Durch Bohren und Schleifen kommt es zu einer lokalen Erhitzung durch die auftretende Reibungswärme an der Bohrerangriffsstelle, die zu ausgedehnten Destruktionen im Dentin bis hin zur Blasenbildung in der Pulpa führen kann.

LISANTI und ZANDER (34) maßen bei 10 Sekunden langer Präparation in der Pulpa von Hundezähnen bis zu 600° F; HOFMANN (26) ermittelte am Kavitätenboden selbst bis zu 290° C in Abhängigkeit vom Auflagedruck.



Nach POHTO und SCHEININ (41) treten schon bei Temperaturen über  $39^{\circ}\text{C}$  in der Pulpa erste histologische Veränderungen auf.

Der Eiweißkoagulationspunkt liegt bei  $56^{\circ}\text{C}$ . Bei Überschreiten dieses Wertes koagulieren zunächst die Tomes'schen Fasern in den Dentinkanälchen, dann die Zell- und Faserelemente in der Pulpa (45).

Um der Temperaturerhöhung entgegenzuwirken, wird eine intermittierende Arbeitsweise, die Verwendung scharfkantiger Bohrer sowie möglichst geringer Anpreßdruck empfohlen; letzterer soll bei der Turbine laut FUHR (18) zwischen 50 - 100 g betragen. Zusätzlich muß für eine ausreichende Kühlung gesorgt werden; ab 5000/U/min. muß zur Luft- eine Spraykühlung hinzukommen (45).

Nach eigenen Ermittlungen lag die Temperatur der Luft, die am Bohrerkopf austritt, mit etwa  $26^{\circ}\text{C}$  über der Raumtemperatur von durchschnittlich  $22^{\circ}\text{C}$ , Werte, die annähernd auch den von KLOS und ROTTKE (29) festgestellten entsprechen. Diese halten einen solchen Wert für entschieden zu kalt, abgesehen davon, daß es zu einer Austrocknung der Dentinkanälchen kommt.

Die Kombination von Kühlflüssigkeit und Luft bewegte sich zwischen  $19^{\circ}\text{C}$  -  $25^{\circ}\text{C}$ , schwankte nach Tageszeit, an der der Versuch durchgeführt wurde - morgens lagen die Werte am tiefsten - und stieg im Verlauf des Versuchs geringfügig an.

Ähnliches beobachteten auch die beiden oben genannten Autoren, in Einzelfällen ergaben sich bei ihnen sogar Werte von  $17,5^{\circ}\text{C}$  (29).

Wie bereits aufgeführt, beschreiben sehr viele Autoren das Temperaturproblem in der Pulpa, finden aber teil-



weise recht unterschiedliche Ergebnisse, was u. a. damit zu begründen ist, daß die Untersuchungsbedingungen sehr verschieden waren. So konnten sowohl FUHR (18) als auch STÜBEN und HOPPE (52) feststellen, daß der Luftstrom bei einem im Munde sich befindlichen Zahn eine Abkühlung, bei einem in Zimmertemperatur von 20° C befindlichen eine Erwärmung bedingt.

Um den oralen Verhältnissen möglichst nahe zu kommen, wurde in den eigenen Experimenten eine Ausgangstemperatur in der Pulpa von 37° C geschaffen, indem die Zahnwurzel in ein gleichtemperiertes Wasserbad ragte. Außerdem befand sich die Krone in einem nach einer Seite hin offenen Behältnis, so daß sich die Luft darin, beeinflußt durch das Wasserbad, über die Raumtemperatur hinaus erwärmen konnte. Allerdings entsprach sie mit etwa 28° C nicht der Mundtemperatur von 34° C.

Die natürliche Durchblutung des Zahnes, die für eine ständige Temperaturregulation sorgt, entfiel selbstverständlich bei den extrahierten Zähnen; aber die geringe Blutmenge in der Pulpa dürfte sich nicht entscheidend auswirken.

Bei der Fortleitung der Temperaturen spielt neben der Integrität, die auf Grund der Auswahl kariesfreier ungefüllter Zähne gegeben war, die Morphologie und die Ausdehnung der Pulpa eine Rolle. Bei den verwendeten Molaren handelte es sich um operativ entfernte Weisheitszähne, bei denen die Pulpa meist noch sehr ausgeprägt ist, bei den Prämolaren meist um jugendliche Zähne, die aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert wurden; die Frontzähne waren ausschließlich bei älteren Patienten wegen parodontologischer Insuffizienz entfernt worden.

(nach Brännström)

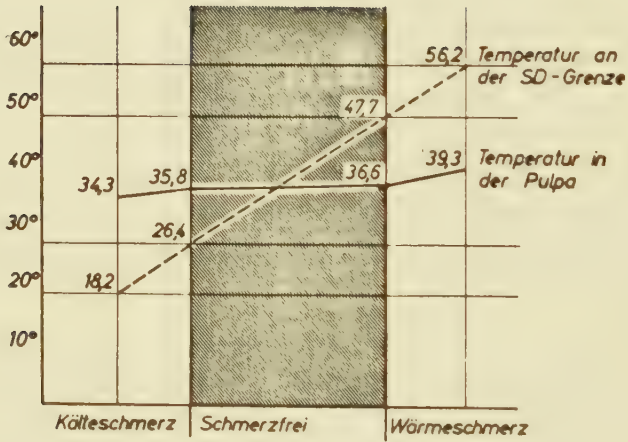


Abb. 33

Bei allen untersuchten Zähnen kam es beim Auftreffen des Kühlmittels zu einer unterschiedlich starken Temperatursenkung. EIFINGER und SCHULZ (12) erklären die gleichermaßen gemachte Beobachtung damit, daß der Zahn vor allem „wegen der dabei entstehenden Verdunstungskälte abgekühlt wird“.

Doch wie verhält es sich bei einer zusätzlichen Absaugung? Kälteschäden kommen vor allem dann zustande, wenn der durch Wärmeabstrahlung vorhandene Luftmantel beseitigt wird, was durch den starken Luftsog hier der Fall ist. So sinken die Außentemperaturen in Saugernähe drastisch ab, dennoch kommt es zu keiner weiteren Abkühlung im Zahninneren, wenn vorher bereits Kühlmittel einwirken konnte. Dagegen fallen die Werte in einer  $37^{\circ}\text{C}$  betragenden Pulpa bis zu  $6^{\circ}\text{C}$ , nach dem zirkulären Beschleifen sogar noch weiter.

Im ersten Fall haben wohl durch die Spraymatic, die als viel zu kalt angesehen werden muß, die Temperaturen im Inneren schon Tiefstwerte erreicht, die auch durch diesen zusätzlichen Kältereiz nicht mehr unterschritten werden können. Immerhin wirkt die Umgebung der Zahnwurzel mit konstanten  $37^{\circ}\text{C}$  der Abkühlung entgegen. Jedoch zeigt die Senkung um  $6^{\circ}\text{C}$ , daß der Luftsog einen regelrechten Temperatursturz in der Pulpa auslöst.

HENSEL und MANN (24) berichten, daß bei  $26,4^{\circ}\text{C}$  an der Schmelz-Dentingrenze und damit verbundenen  $35,8^{\circ}\text{C}$  in der Pulpa schon erste Schmerzempfindungen von Patienten angegeben wurden. Diese waren besonders intensiv bei  $34,3^{\circ}\text{C}$  im Inneren. Die Untersuchungen wurden allerdings in vivo durchgeführt (s. Abb. 33).



Dennoch muß man davon ausgehen, daß die Reizschwelle bei den Temperaturen, die sowohl durch die Spraymatic als auch durch die Verwendung der Spraynebelabsauganlage verursacht werden, erheblich überschritten wird. Erst eine Abkühlung des Zahnes auf  $1^{\circ} - 4^{\circ} \text{ C}$  hat eine Anästhesie zur Folge, was man sich früher bei den Non-dolor-Geräten zu Nutze machte.

Beim Beschleifen des Zahnes unter Absaugung muß berücksichtigt werden, daß dabei Dentin freigelegt wird und damit die Dentinkanälchen, so daß durch die Luftaspiration verstärkte hydrodynamische Bewegungen denkbar sind. Zum einen führt dies zu einem Flüssigkeitsaustritt aus den Dentintubuli, zum anderen zu einer Aspiration der Odontoblastenfortsätze in die Kanälchen und damit einer größeren Traumatisierung der „Dentinwunde“. Ob aber ein wesentlicher Einfluß der Sauganlage vorhanden ist, müßte erst in histologischen Studien geklärt werden.

Wie aber in vielen Untersuchungen über die Feinstruktur der Pulpa zum Ausdruck kommt, führt eine Unterkühlung nicht zu irreparablen Schäden.

LANGELAND (32), COTTON (9), POHTO und SCHEININ (41), EIFINGER (12) und viele mehr untersuchten unzählige Pulpen von Zähnen nach, die vorher Hitze und Kälte, Luft und mechanischer Bearbeitung ausgesetzt worden waren, und machten immer wieder die Feststellung, daß die Pulpa erstaunlich regenerationsfreudig und abwehrfähig ist.

Abschließend kann man sagen, daß sich auch in diesen Untersuchungen gezeigt hat, daß die Spraymatic der Turbine zu kalt ist, daß eine zusätzliche Verwendung der Spraynebelabsauganlage keinen weiteren Einfluß aus-



übt, daß aber in den präparationslosen Phasen auf ein Ausschalten der Absauganlage geachtet werden muß, um unnötige Schmerzen zu vermeiden; denn es gibt zudem eine lange bestehende Grundforderung, Gewebe feucht und warm zu halten.



## 6. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war zu ermitteln, ob die Verwendung der Spraynebelabsauganlage bei zahnärztlichen Eingriffen einen Einfluß auf die Temperaturen in der Pulpa ausübt.

Zur Auswahl kamen kariesfreie ungefüllte Molaren, Prämolaren und Frontzähne. Diese hatten zu Versuchsbeginn eine Innentemperatur von  $37^{\circ}\text{C}$  gemäß der physiologischen Körpertemperatur, indem die Wurzel in ein entsprechend temperiertes Wasserbad ragte, und die Krone sich in einem nach einer Seite hin offenen Behältnis befand.

Die Zahnkrone wurde einmal dem an der Turbine austretenden Wasser-Luftgemisch ausgesetzt. Infolgedessen betrug der Abfall der Pulpentemperatur innerhalb weniger Sekunden bis zu  $11^{\circ}\text{C}$ . Die Temperaturkurven, die gleichzeitig außerhalb des Zahnes in einem Abstand von 2 cm mitaufgezeichnet wurden, wiesen ebenfalls einen stark fallenden Verlauf auf.

Wurde diese anfallende Kühlflüssigkeit sofort mit einer Spraynebelabsauganlage entfernt, so änderte sich dieses Ergebnis nur unwesentlich. Meist blieb die bereits durch die Spraymatic abgesunkene Temperatur konstant oder stieg sogar geringfügig an, obwohl die umgebende Luft in der Nähe des Absaugrohres noch weiter abkühlte. Das gleiche Verhalten zeigten die Zähne auch im beschliffenen Zustand.

Bei ausschließlicher Luftaspiration unmittelbar an der Krone fielen die Werte im Inneren von  $37^{\circ}\text{C}$  auf  $30,5^{\circ}\text{C}$ , nach Substanzabtragung bis auf  $27^{\circ}\text{C}$ .



Dies bedeutet zum einen, daß die Spraymatic die stärksten Auswirkungen zur Folge hatte und sich als viel zu kalt erweist, zum anderen, daß durch eine starke Absauganlage die Pulpa zum Teil unterkühlt wird, vorausgesetzt, daß nicht bereits vorher eine ausgedehnte Abkühlung durch die Sprayflüssigkeit erfolgt ist.

In jedem Fall liegen die Temperaturen in der Pulpa unterhalb der Grenze von  $35,8^{\circ}\text{C}$ , wie sie von HENSEL (24) zur Auslösung eines Kälteschmerzes ermittelt wurde, so daß auch eine Schmerzauslösung durch den Absaug-sog dadurch bedingt sein kann. Dennoch stellt sich weiterhin die Frage, wieso viele Patienten oft sogar an den anästhesierten Zähnen Schmerzen empfinden, sobald die Spraynebelabsauganlage verwendet wird, während eine Kühlflüssigkeit keinerlei Reaktion auslöst. Neben der Kältewirkung müssen andere Schmerzreize wie z. B. mechanische Faktoren diskutiert werden.



## 7. Literaturverzeichnis

1. **Albrecht, J.**  
**Riethe, P.**  
**v. Wasielewski, E.**      Über die Anwendungsmöglichkeiten  
bei Anwendung des Nondolor-Gerätes,  
Luftbläasers und Wassersprays.  
Zahnärztl. Welt/Ref. 8, 333; 1953
2. **Albrecht, J.**  
**Riethe, P.**  
**v. Wasielewski, E.**      Über die Infektionsmöglichkeit durch  
Bohrstaub  
Zahnärztl. Welt/Ref. 9, 599; 1954
3. **Arwill, T.**      Innervation of the teeth  
Publications of the Umea research  
library series 2: 3; Stockholm 1958
4. **Batay, J.**      Indikation verschiedener Färbemethoden  
zur Darstellung des Pulpengewebes  
Med. Diss. Mainz 1968
5. **Berkelbach, H.**      Zur Neurologie des Zahnes  
Zschr. mikroskop.-anat. Forschung 38, 1; 1935
6. **Braden, M.**      Heat conduction in teeth and the effect  
of lining materials  
J. Dent. Res. 3, 315; 1964
7. **Brannström, M.**  
**Aström, A.**      Hydrodynamik des Dentins,  
Beziehung zum Dentin-Schmerz  
Quintessenz 5, 123; 1975
8. **Bratschko, R. O.**  
**Plischka, G.**      Klinische Ergebnisse einer verbesserten  
Schleifkörpertechnologie  
Quintessenz 5, 1065; 1982
9. **Cotton, W. R.**      Pulp response to an airstream directed into  
human cavity preparations  
Oral surg. oral med. oral path 24, 78; 1967
10. **Drum, W.**      Warmes oder kaltes Kühlwasser beim Airotor?  
Quintessenz 9, 1; 1960
11. **Dürr-Dental**      Absauganlagen
12. **Elfinger, F.**  
**Schulz, R. R.**      Temperaturmessungen im Pulpencavum  
während Onlay- und Inlaypräparation  
Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 763; 1979
13. **Elfinger, F.**  
**Turck, D.**      Referat über das wissenschaftliche Programm  
des FDI-Kongresses 1962  
zit. Mühlemann  
zit. Scheinin  
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1375; 1962



14. Engelter, A.  
Harnisch, H.  
Martin, R.  
Zur Methodik der Prüfung der Wirksamkeit von Lokalanästhetika und Analgetika durch elektrische Reizschwellenmessungen am menschlichen Zahn  
Stoma 8, 37; 1955
15. Evers, H.  
Haegerstam, G.  
Lokalanästhesie  
Thieme-Verlag Stuttgart; 1983
16. Fechner, U.  
Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim normal-, hoch- und höchsttourigen Bohren (Fräsen)  
Med. Diss. FU Berlin; 1960
17. Fromme, H. G.  
Riedel, H.  
Vahl, J.  
Elektronenmikroskopische und elementanalytische Untersuchungen zur Differenzierung der Odontoblasten und zur Dentinbildung  
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 574; 1968
18. Fuhr, K.  
Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Behandlung der Zahnhartsubstanzen unter Berücksichtigung der Pulpenveränderung und der Periodontalreaktionen  
Med. Habilschrift Mainz; 1964
19. Gerlach, J.  
Hansen, K.  
Segmüller, D.  
Spuler, H.  
Grundlagen der operativen Anwendung tiefer Temperaturen in der klinischen Medizin  
Z. ges. exp. Med. 144, 46; 1967
20. Gräf, W.  
Thermische Belastung der Zähne beim Verzehr extrem heißer und kalter Speisen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 30; 1960
21. Hahne, K.  
Vergleichende Untersuchungen der Leistungsfähigkeit des Ein- und Zweidüsenkühlsystems von zahnärztlichen Turbinen  
Med. Diss. Mainz; 1975
22. Henning, G.  
Przetak, Ch.  
Der Präp-Trainer - Thermische Kontrolle im Pulpenraum  
Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 204; 1975
23. Hensel, H.  
in Keidel, W.  
Sinnesempfindungen in der Mundhöhle  
Lehrbuch der Physiologie  
Thieme-Verlag Stuttgart; 1975
24. Hensel, H.  
Mann, G.  
Temperaturschmerz und Wärmeleitung im menschlichen Zahn  
Stoma 9, 76; 1956
25. Hoffmann-Axthelm  
Lexikon der Zahnmedizin S. 97  
Quintessenz-Verlag Berlin; 1974



- |                                             |                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>26. Hofmann, M.</b>                      | Temperaturentwicklung im Pulpencavum<br>Dtch. zahnärztl. Z. 16, 390; 1961                                                                                    |
| <b>27. Keidel, W.</b>                       | Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie<br>Thieme-Verlag Stuttgart; 1970                                                                                       |
| <b>28. Klötzer, W. T.</b>                   | Polycarbonatzemente im physikalischen<br>und biologischen Test<br>Dtch. zahnärztl. Z. 25, 716; 1970                                                          |
| <b>29. Klos, H.<br/>Rottke, R.</b>          | Experimentelle Untersuchungen zum<br>Temperaturproblem beim höchsttourigen<br>Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten<br>Dtch. zahnärztl. Z. 15, 1659; 1960 |
| <b>30. Köhler, J. A.</b>                    | Über die Schmerzqualitäten im Zahn-,<br>Mund- und Kiefergebiet sowie ihre<br>differentialdiagnostische Bedeutung<br>Zahnärztl. Welt/Ref. 67, 585; 1966       |
| <b>31. Langeland, K.</b>                    | Histologic evaluation of pulp reactions<br>to operative procedures<br>Oral surg. oral med. oral path. 12, 1235; 1959                                         |
| <b>32. Langeland, K.</b>                    | Tissue changes in the dental pulp<br>Acta odont. scand. 19, 74; 1961                                                                                         |
| <b>33. Lenk, V.<br/>Eichner, K.</b>         | Experimentelle Untersuchungen zur Hygiene<br>bei hoch- und höchsttourigem Bohren<br>und Schleifen<br>Dtch. zahnärztl. Z. 18, 118; 1963                       |
| <b>34. Lisanti, V. F.<br/>Zander, H. A.</b> | Thermal injury to normal dog teeth<br>J. dent. Res. 31, 548; 1952                                                                                            |
| <b>35. Münch, J.<br/>Kluczka, J.</b>        | Die Zahnerhaltung<br>Möglichkeit und Grenzen in der Praxis<br>Verlag J. A. Barth, München; 1966                                                              |
| <b>36. Naylor, M. N.</b>                    | Studies on sensation to cold stimulation<br>in human teeth<br>Brit. Dent. J. 117, 482; 1964                                                                  |
| <b>37. Ontrup, D.</b>                       | Übersicht über Schleifkörper, Bohrer<br>und Geräte zum hoch- und höchst-<br>tourigen Bohren und Schleifen<br>Dtch. zahnärztl. Z. 15, 58; 1960                |
| <b>38. Pfeifer, K. H.</b>                   | Untersuchungen über die Druckverhältnisse<br>in den Dentinkanälchen bei<br>verschiedenartiger Bearbeitung der<br>Zahnhartsubstanz<br>Med. Diss. Mainz; 1973  |



39. Pöhlmann, L. Über spontan-rhythmische Schwankungen der Schmerzschwelle  
Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 180; 1977
40. Pöhlmann, L. Untersuchungen zur Schmerzempfindung an gesunden Zähnen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 142; 1980
41. Pohio, M.  
Scheinin, A. Microscopic observations on living dental pulp  
Acta odont. scand. 16, 303; 1958  
Acta odont. scand. 16, 315; 1958
42. Riedel, H. „Der Arbeitsplatz“ in  
Praxis der Zahnheilkunde Bd. I, 30
43. Riethe, P. Über die Infektionsmöglichkeit bei der Anwendung von luftgetriebenen Schnellstlaufgeräten  
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 353; 1960
44. Sauerbruch, F.  
Wenke, H. Wesen und Bedeutung des Schmerzes  
Zunker-Dünnhaupt Verlag Berlin; 1936
45. Sauerwein, E. Die Zahnerhaltungskunde  
Thieme-Verlag Stuttgart; 1976
46. Schmidt, R. F. Grundriß der Sinnesphysiologie  
Heidelberger Taschenbücher  
Springer-Verlag; 1980
47. Schnorrbach, H. J.  
Siebert, G. Untersuchungen zur Polymerisations-temperatur von Scutan®, Palavit 55® und Trim®  
Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 763; 1979
48. Schumacher-Schmidt Anatomie und Biochemie der Zähne  
Fischer-Verlag Stuttgart; 1972
49. Sheperd, J. P. Effects of lowered temperatures on rat pulp and gingivae  
Oral surg. oral. med. oral path. 42, 386; 1976
50. Sorg, D. A. Analgetika in der Zahnheilkunde  
Med. Diss. Mainz; 1976
51. Stockinger, L.  
Pritz, W. Über den Zahnschmerz  
Ö. Zschr. Stomat. 68, 170; 1971
52. Stüben, J.  
Hoppe, W. F. Experimentelle Untersuchungen über die Temperaturveränderung in der Zahnhartsubstanz beim höchsttourigen Bohren und Schleifen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 477; 1962



- 53. Thompson, E. O.** Clinical application of the washed field technic in dentistry  
J. Americ. Dent. Ass. 51, 703; 1955
- 54. Thompson, W. R.** Das Prinzip verschiedener Absaug-systeme  
Dental-Report 110; 1968
- 55. Weder, M.** Über die Veränderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hohen Geschwindigkeiten  
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 104; 1960



## Lebenslauf

Am 24. 6. 1957 wurde ich als Kind der Eheleute Hermann und Ingrid Schwan, geb. Haltern, in Saarbrücken geboren.

Von 1964 bis 1968 besuchte ich die Grundschule in St. Ingbert, anschließend das Albertus-Magnus-Gymnasium, an dem ich 1976 die Reifeprüfung ablegte.

Im April 1977 nahm ich an der Universität in Mainz das Studium der Zahnmedizin auf. Dort bestand ich 1982 das Staatsexamen.

Anschließend war ich bis Dezember 1983 an der zahnärztlich-chirurgischen Abteilung der Universität Düsseldorf tätig.

Seit Januar 1984 arbeite ich als Assistentin in freier Praxis.







## **Danksagung:**

Herrn Prof. Dr. G. Siebert danke ich für die Überlassung des Themas, Übernahme des Referates und die Korrektur der Arbeit.

Dem Direktor der konservierenden Abteilung der Universitätsklinik Düsseldorf, Herrn Prof. Dr. F. Schübel spreche ich meinen Dank für die Übernahme des Korreferates aus.

